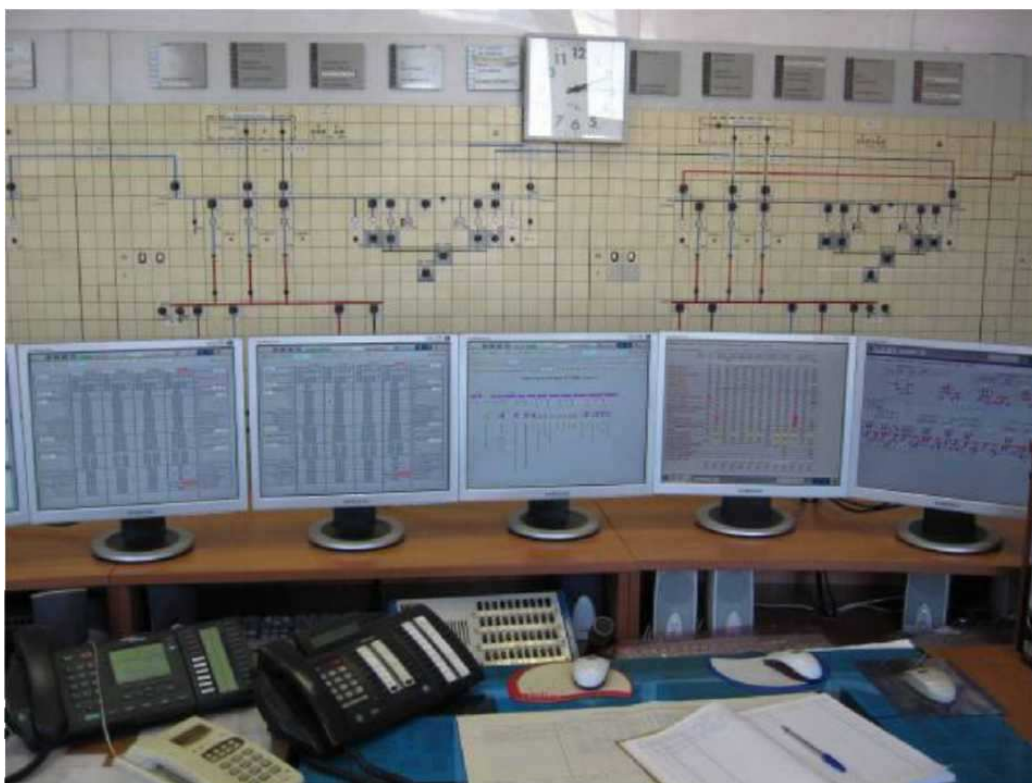


**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**  
**з курсу**

**«П'ЯТОВІ ПІДСТАНЦІЇ**  
**ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ»**

*(для студентів 5-го курсу денної і заочної форм навчання  
спеціальності 7.092202 (7.05070203) «Електричний транспорт»)*



**Харків – ХНАМГ – 2011**

**Нем В. К.** Конспект лекцій з курсу «Тягові підстанції електричного транспорту» (для студентів 5-го курсу денної і заочної форм навчання спеціальності 7.092202 (7.05070203) «Електричний транспорт») / В. К. Нем, В. І. Скуріхін, В. Ф. Сидоренко; Харк. нац. акад. міск. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2011. – 109 с.

Автори: В. К. Нем,  
В. І. Скуріхін,  
В. Ф. Сидоренко

*Рекомендовано кафедрою електричного транспорту,  
протокол засідання № 9 від 29.03.2011 р.*

## ЗМІСТ

Основні терміни і визначення.....	5
Вступ.....	8
<b>Розділ 1. Електричні станції і тягові підстанції.....</b>	<b>9</b>
1.1. Джерела електричної енергії.....	9
1.2 Коротке замикання на шинах РУ (6-10) кВ.....	15
1.2.1 Перехідні процеси при коротких замиканнях.....	15
1.2.2 Розрахунок струмів к.з. на шинах ТП.....	18
1.2.3 Електродинамічна дія струмів к. з.....	22
1.2.4 Термічна дія струмів к. з.....	24
1.3. Структура і класифікація тягових підстанцій.....	27
1.4. Коротка характеристика однолінійної електричної схеми тягової підстанції.....	29
<b>Розділ 2. Конструктивні вузли і типи тягових підстанцій.....</b>	<b>33</b>
2.1. Загальні відомості.....	33
2.2. Призначення, класифікація розмикачів РУ змінного струму.....	37
2.3. Принцип дії, призначення високовольтних запобіжників.....	38
2.4. Призначення, класифікація високовольтних вимикачів.....	41
2.5. Призначення, класифікація ізоляторів. Шини РУ (6-10) кВ.....	44
2.6 Призначення, класифікація трансформаторів струму і напруги.....	45
2.7 Розподільчий пристрій (+600) на ТП.....	52
2.8 Швидкодіючі автоматичні вимикачі РУ (+600) В.....	56
2.9 Розмикачі РУ (+600) В. АПВ.....	64
2.10. Перетворювальний пристрій ТП.....	66
2.11 Перетворювальні трансформатори.....	68
2.12 Захист перетворювальних агрегатів від перенапружень.....	72

<b>Розділ 3. Релейний захист та автоматика.....</b>	<b>73</b>
3.1 Релейний захист.....	73
3.2 Апаратура релейних захистів.....	76
3.3 Автоматика вводів (6 – 10) кВ.....	82
3.4 Автоматика перетворювального агрегату ВАКЛЕ.....	85
3.5 Автоматика пристроїв живлячих ліній 600 В.....	89
3.6 Схема керування лінійним вимикачем багатоагрегатної підстанції.....	90
3.7 Власні потреби ТП.....	94
3.8 Електродиспетчерські пункти.....	96
3.9 Захисне заземлення.....	98
3.10 Основні задачі і організація технічної експлуатації.....	101
3.11 Техніка безпеки на ТП.....	104
<b>СПИСОК ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>108</b>

## ОСНОВНІ ТЕРМІНИ Й ВИЗНАЧЕННЯ

Прийняті на підставі [20 - 23]

*Тягова підстанція (ТП)* – споруда, в якій встановлене обладнання для зміни величини напруги й перетворення змінного струму в постійний для живлення тролейбусних і трамвайних ліній.

*Диспетчер* - працівник, який регулює рух транспорту чи хід роботи на підприємстві міського електричного транспорту.

*Аварійний режим електропостачання* – режим роботи системи електропостачання, за якого в результаті відмови її елемента стає неможливим дотримання технічних нормативів. Настання аварійного режиму вимагає скорочення чи повне припинення руху.

*Вимушений режим електропостачання* – режим роботи системи електропостачання, коли відключений один з резервних елементів живильної лінії, перетворювача чи джерела живлення власних потреб (у вимушеному режимі нормальна робота рухомого складу, розрахункові значення параметрів руху зберігаються за рахунок використання резерву; електричні навантаження й падіння напруги не повинні перевищувати припустимих значень).

*Нормальний режим електропостачання* – режим роботи систем електропостачання без використання резерву, що забезпечує живлення контактної мережі при розрахункових розмірах руху в піковий час і для умов найбільшого опору руху рухомого складу.

*Децентралізована система електропостачання* – система, в якій кожна секція контактної мережі в нормальному режимі живиться від двох сусідніх тягових підстанцій, цілком взаєморезервуючих по проводах контактної мережі.

*Централізована система електропостачання* – система, в якій кожна тягова підстанція здійснює автономне живлення тягової мережі без автоматичного розвантаження сусідніми підстанціями.

*Індукційний струм* – струм, обумовлений індуктивним впливом, що проходить крізь тіло людини, яка стоїть на землі й торкається ізольованого від землі корпусу рухомого складу МЕТ.

*Заземлена система електропостачання* - система живлення рухомого складу трамвая і тролейбуса, негативний полюс якої заземлений через заземлюючий пристрій підстанції або через рейкову колію.

*Ізольована система електропостачання* - система живлення рухомого складу тролейбуса, що не має заземлення негативного або позитивного полюса.

*Телекерована тягова підстанція* - автоматизована тягова підстанція, якою керують з диспетчерського пункту каналами телемеханіки.

*Диспетчерський пункт* - приміщення, в якому персонал і технічні засоби призначені для телекерування тяговими підстанціями і оперативно-ремонтного обслуговування телекерованих тягових підстанцій.

*Перетворювач* - установка для пониження напруги і перетворення змінного струму в постійний, що включає трансформатор, перетворювальну секцію, вимикач змінного струму, катодний вимикач і апаратуру та прилади управління і контролю, які відносяться до них, а також лінійні приєднання постійного струму, в яких перетворювач виконує і захисні – комутаційні функції.

*Район живлення тягової підстанції* - сукупність секцій контактної мережі, що живляться електроенергією від даної тягової підстанції.

*Струм короткого замикання (С.К.З.)* - значення струму в короткозамкнутому ланцюзі у випадку металевого замикання різнополярних проводів.

*Тяговий струм (завантаження)* - струм в якому-небудь елементі системи електропостачання, який обумовлений споживанням енергії рухомим складом.

*Ефективний струм* - значення постійного за величиною струму, еквівалентного за тепловою дією реальному тяговому струму за вибраний інтервал часу.

*Розрахунковий максимальний струм* - найбільше значення тягового струму живлячої лінії, за яким розраховують струм «уставки» лінійного автоматичного вимикача.

*Перевантаження* - перевищення тягового завантаження рівня, відповідного номінальному струму даного елемента системи електропостачання.

## **СПИСОК ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ**

ПУЕ - правила улаштування електроустановок;  
АВР - автоматичне вмикання резервного вводу;  
АПВ - автоматичне повторне вмикання;  
МЕТ - міський електричний транспорт;  
ТО - технічне обслуговування;  
ЕТ - електричний транспорт;  
ЛЕП - лінії електропередачі;  
СЕП - система електропостачання;  
ТП - тягові підстанції;  
РС - рухомий склад;  
РП - районна понижуюча підстанція;  
ШВ - швидкодіючий вимикач  
ВП - власні потреби  
КЗ - коротке замикання

## Вступ

Надійність і ефективність роботи електричного транспорту в значній мірі визначається системою електропостачання, одним з основних елементів якої є тягові підстанції.

Тягова підстанція це складна електротехнічна споруда, оснащена силовим, перетворювальним, комутаційним і релейним устаткуванням. Розвиток тягових підстанцій полягає не тільки у вдосконаленні технічного рівня, але і в істотному поліпшенні якості технічної експлуатації. Це підвищує роль підготовки висококваліфікованих фахівців для експлуатаційних підприємств електричного транспорту.

У теперішній час як вітчизняною так і зарубіжною промисловістю випущено нове, досконаліше устаткування: перетворювальні агрегати, апаратура розподільних пристроїв змінного і постійного струму, автоматики і телемеханіки. Крім того на Україні вийшли нові Правила пристрою електроустановок, Правила експлуатації трамвая і тролейбуса. Всі ці технічні і організаційні зміни внесені в даний конспект лекцій. При підготовці конспекту враховано, що зараз на більше 90% тягових підстанціях експлуатують устаткування минулих років випуску, тому в роботі надано їх короткий опис.

Конспект лекцій написаний в відповідності з програмою курсу «Тягові підстанції» і учбовим планом кафедри «Електричний транспорт» Харківської національної академії міського господарства для спеціальності 6.050.702 «Електромеханіки».



# Розділ 1. Електричні станції і тягові підстанції

## 1.1. Джерела електричної енергії

Основним принципом розвитку електрифікації є створення об'єднаних енергетичних систем.

*Енергетична система* — це об'єднання паралельно працюючих електростанцій єдиною високовольтною мережею електропередачі із загальним режимом роботи, диспетчеризацією і загальним резервом. Введення енергетичної системи підвищує економічну ефективність електроустановок, дозволяє повніше використовувати енергетичні ресурси і потужність електростанцій, а також зменшує число резервних агрегатів. Унаслідок наявності великого числа годинних поясів енергетичні системи набувають особливо важливого значення.

Основні задачі, що стоять перед електроенергетиками, - збільшення будівництва нових електроенергетичних установок, скорочення термінів будівництва, зменшення питомих витрат при будівництві, скорочення питомих витрат палива. Зокрема, в розвитку електроенергетики передбачається тривалість формування єдиної системи електроенергії країни із застосуванням міжсистемних ліній електропередачі з напругою 500, 750, 1150 кВ змінного струму і 1500 кВ постійного струму [22].

Лінії електропередач постійного струму мають випростану установку - в головній частині і інверторну - в кінцевій частині. Інверторна установка перетворює постійний струм, в трифазний, нормальної частоти.

Лінії електропередачі постійного струму, не дивлячись на відносну складність, економічно виправдані внаслідок високої надійності, скорочення часу ремонтних робіт.

Електростанції, що виробляють електроенергію, можуть бути теплові, що працюють на торфі, нафті, газі і кам'яному вугіллі; атомні, які використовують енергію атомних реакторів, і гідроелектростанції, що працюють за рахунок енергії падаючої маси води.

*Теплові електростанції* з паровими турбінами бувають конденсаційними і теплофікаційними.

Конденсаційна паротурбінна електростанція (КЕС) складається з турбіни, в яку подають з казана пар, який спотворює механічну роботу обертання турбіни і генератора, при цьому виробляє електроенергію трифазного змінного струму.

Паротурбінні теплофікаційні електростанції — електроцентралі (ТЕЦ) — забезпечують довколишні підприємства електроенергією, паром і гарячою водою.

Пара для потреб теплофікації відводиться від проміжних ступенів турбіни, при цьому частина його може подаватися безпосередньо на промислові підприємства, інша частина поступає у водопідігрівач для отримання гарячої води теплофікації. Після теплофікаційного водопідігрівача конденсат води прямує в живильний бак.

*Атомні електростанції (АЕС)* використовують енергію атомних реакторів, в яких як ядерне пальне застосовують один з ізотопів урану і торія. Атомні електростанції за своєю суттю відносяться до теплових електростанцій, оскільки пар, що утворюється в казані за рахунок його нагріву реактором, обертає турбіну і генератор, який виробляє змінний електричний струм.

Слід зазначити, що запаси тільки урану містять в 20—40 разів більше енергії, ніж розвідані запаси вугілля і нафти: 1 кг урану еквівалентний 2000 т вугілля і може дати 20 млн. кВт·год. електричної енергії.

Обмежені паливні ресурси земних надр примусили вчених шукати нові способи отримання електроенергії. Зараз фізики всього світу працюють над отриманням енергії, що виділяється при злитті ядер легких елементів.

*Гідроелектростанції (ГЕС)* використовують натиск води, що створений перепадами її між верхнім і нижнім рівнями (б'єфами).

Потужність гідроелектростанції залежить від висоти падіння і кількості води, що протікає через турбіну за одиницю часу.

Гідроелектростанції, що побудовані на гірських річках при порівняно невеликій витраті води, але великій висоті падіння, що доходить до 400 м, ці станції бувають достатньо могутніми. На Україні працює така ГЕС в м. Запоріжжі.

Коефіцієнт корисної дії ГЕС складає близько 80—90% [22]. Унаслідок відсутності витрат на паливо собівартість електроенергії ГЕС у декілька разів менше ніж теплових електростанцій.

З метою полегшення роботи основних електростанцій в години максимуму навантаження іноді застосовують гідроакumuлюючі електростанції (ГАЕС). Ці станції мають верхній і нижній водні басейни. На станції встановлені оборотні генератори з насосами, які в періоди спаду навантаження подають воду з нижнього басейну до верхнього, а в години максимуму навантаження - виробляють електроенергію.

Тривалий час учені СНД, США і Великобританії працювали над принципово новими способами отримання електроенергії в магнітогідрогенераторах за рахунок виділення енергії при злитті ядер легких хімічних елементів при високій температурі.

Радянські учені першими у світі в розробленій ними установці «Токомак» в 1968 р. нагрівали водневу плазму до температури +10 млн. градусів за Цельсієм.

Отримання електроенергії в магнітогідрогенераторах на відміну від існуючих теплоелектростанцій не вимагає використання природних паливних ресурсів.

Іншим перспективним науковим напрямом є отримання провідників електричного струму, що мають надпровідність. Такі провідники при малому їх перетині дозволяють значно понижати втрати електроенергії.

У даний час у всьому світі поширені такі джерела електричної енергії, як вітряні, сонячні батареї та інші.

Усі вони спрямовані на зменшення собівартості енергії, яку виробляють, з мінімальними витратами природних ресурсів.

Більшість електростанцій працюють на загальну енергосистему, від якої живляться промислові, транспортні й інші підприємства.

*Електричною системою* називають частину енергосистеми, що об'єднує генератори, розподільні пристрої і лінії електропередачі. Основними елементами будь-якої електричної системи є електростанції. Електроенергія всередині системи розподіляють за напругою 35, 110 або 220 кВ.

На внутрішніх підстанціях електричної системи для підвищення коефіцієнта потужності встановлюють синхронні компенсатори (СК).

Для живлення відносно дрібних споживачів (наприклад, тягових підстанцій), в системі застосовують розподільні пункти (РП), які від підстанцій відрізняються тим, що не мають трансформаторів.

Трифазна електрична система (напругою вище 1000 В) може виконуватися в трьох варіантах: з ізольованою нейтраллю; з нейтраллю, що заземлена через дугогасильні котушки (компенсовані системи), і з глухозаземленою нейтраллю.

Система з ізольованою нейтраллю має вищу надійність роботи, оскільки однофазні замикання “на землю”, що становлять близько 75% загального числа пошкоджень, не відображаються на роботі споживачів. Ці системи характеризуються малими струмами замикання на землю і не вимагають негайного відключення. Проте, при замиканні однієї фази “на землю” напруга інших фаз щодо землі підвищується в разі, що може викликати повторне замикання “на землю”.

Коротка історія розвитку тягових підстанцій, як і розвиток міського електричного транспорту (МЕТ), тісно пов'язана з прогресом в області розвитку перетворюючої техніки. Перший в Росії трамвай поїхав Києва в 1892 р. Він живився від генераторів постійного струму (динамомашин).

У Москві в 1903 р. для живлення трамвая були використані умформери (однотактні перетворювачі). Їх вмикали до трифазної мережі 10 кВ з частотою 25 Гц через трансформатори. Не дивлячись на необхідність в додаткових

пристроях для перетворення трифазного струму частотою 50 Гц в 25 Гц, це був значний крок у розвитку тягових підстанцій.

Вітчизняна промисловість в 1930 р. спочатку випускала ртутні випрямлячі (РВ). Ці перетворювачі по відношенню до умформерів володіли значними перевагами. Вони не вимагали перетворення трифазного струму частотою 50 Гц в 25 Гц, були дешевшими умформерів, менших габаритних розмірів, простіші в експлуатації. Але наявність в РВ ртуті забруднювала повітря машинного залу, особливо підчас їх ремонту.

Наступним етапом в розвитку перетворюючої техніки з'явилося впровадження вітчизняних напівпровідникових випрямлячів (МЕІ). в 1965 р. Цей вид випрямлячів по відношенню до РВ володів ще більшими перевагами; дозволяв легко здійснювати автоматизацію підстанцій, був простий і надійний в експлуатації. Первинні типи напівпровідникових випрямлячів були ще дещо громіздкими, оскільки мали примусове повітряне (вентилятор) охолодження і великі шафи захисту від перенапруження.

Надалі ці недоліки були усунені. Сучасний напівпровідниковий (кремнієвий) випрямляч за надійністю не відрізняється від трансформатора.

Надалі стали застосовувати керовані випрямлячі (тиристорні). Вони забезпечували швидке відключення зовнішнього струму короткого замикання (к.з.) і могли застосовуватися на підстанціях без громіздких вимикачів постійного струму, в яких при відключенні навантаження і к.з. виникає відкрита електрична дуга.

Живлення тягових підстанцій електроенергією забезпечується кабельними лініями напругою 6 або 10 кВ, приєднуваними до розподільного пристрою вищої напруги.

Розподільний пристрій служить для прийому і розподілу електроенергії. Він складається із збірних шин, оперативних і захисних апаратів, вимірювальних приладів і допоміжних апаратів. До розподільного пристрою приєднані перетворювальні агрегати і трансформатори власних потреб (ВП).

Зараз уже експлуатуються нові типи трансформаторів («сухі»); випрямлячів; розмикачів; високовольтних вимикачів; швидкодіючих вимикачів постійного струму і інші.

Перетворювальні агрегати складаються з перетворювальних трансформаторів і випрямлячів.

Електроенергія випрямленого струму через розподільний пристрій постійного струму з позитивних і негативних шин поступає в тягову мережу для живлення електричного рухомого складу.

Навантаження на збірних шинах ТП не залишається постійним, оскільки безперервно змінюється число потягів, що курсують в районі підстанції, а також струм, споживаний кожним потягом.

Струм змінюється залежно від опору руху потягу, профілю і пролягання шляху, наповнення вагона пасажирями, виду з'єднання тягових двигунів.

Внаслідок цього миттєве значення сумарного струму на збірних шинах ТП постійно змінюється (рис.1.1). Змінюється навантаження на шинах ТП і за годинами доби (рис.1.2), [1].

Система електропостачання — сукупність пристроїв, що призначені для прийому, перетворення і розподілу електроенергії, яку споживає рухомий склад. Система електропостачання може бути централізованою і децентралізованою.

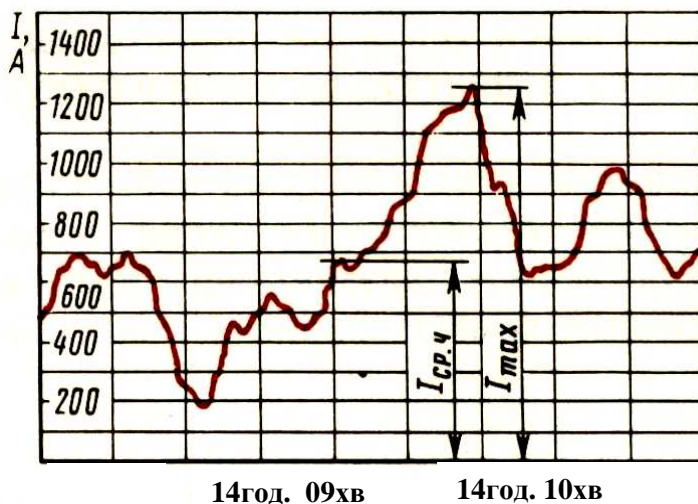


Рис. 1.1 - Крива миттєвого значення струму на збірних шинах тягової підстанції

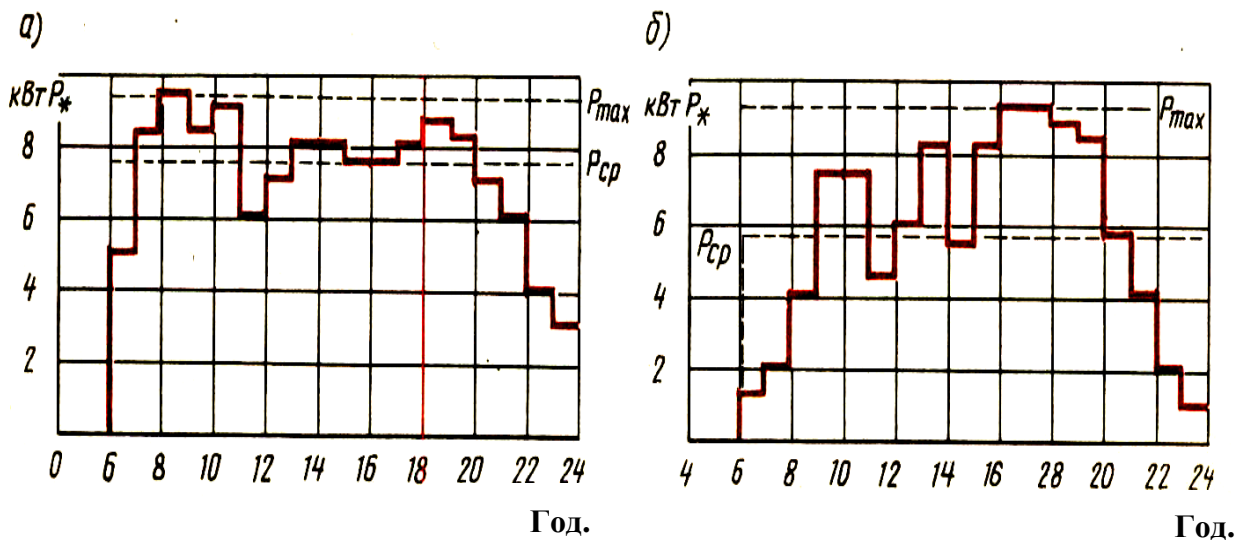


Рис. 1.2 - Графік навантажень тягової підстанції за годинами доби в робочі дні тижня:  
 а — трьоагрегатна підстанція ( $P_{cp} = 0,6P_{max}$ );  
 б — одноагрегатна підстанція ( $P_{cp} = 0,5P_{max}$ )

Централізована система електропостачання — система, в якій кожна тягова підстанція живить великий район контактної мережі по багатьох кабелях.

Децентралізована система електропостачання — система, як правило, з двома плюсовими і двома мінусовими кабелями, що виводяться на контактну мережу, кожна секція якої живиться з двох сторін від двох тягових підстанцій.

## 1.2. Коротке замикання на шинах РУ 6-10 кВ

### 1.2.1. Перехідні процеси при коротких замиканнях

Як і в електричних ланцюгах змінного струму, для вибору електроустаткування, перетину кабелів, проводів і перевірки їх на термічну й електродинамічну стійкість, необхідно визначати струми і потужності короткого замикання (к.з.).

Короткі замикання виникають в електричних установках змінного струму внаслідок пробоя ізоляції між різними фазами струмоведучих частин установок або замикання між провідниками.

Основною причиною короткого замикання є пошкодження ізоляції фаз. Це може бути слідством природного старіння ізоляції, механічного її пошкодження або дії атмосферних або комутаційних перенапружень.

Другою причиною виникнення короткого замикання є порушення обслуговуючим персоналом правил технічної експлуатації, експлуатаційних інструкцій і правил техніки безпеки.

Струми к.з. в сучасних могутніх електричних системах можуть досягати десятків і сотень тисяч ампер. Такі струми викликають в електричних апаратах і провідниках великі електродинамічні (механічні) сили, а також термічну дію (нагріваючи). Для зменшення шкідливої дії струмів к.з. короткозамкнуті ланцюги необхідно відключати. Це відключення проводять вимикачами і запобіжниками.

Для зменшення струмів к.з. у високовольтних ланцюгах застосовують реактори, які штучно збільшують індуктивний опір ланцюга, але при цьому зростають втрати електричної енергії.

У місцях к.з. звичайно виникає електрична дуга, яка дещо збільшує опір ланцюга, але оскільки точний облік перехідного опору дуги практично неможливий, розрахунок струму к.з. веде на якнайгірші умови металевого короткого замикання.

Характер зміни струму в електричному ланцюзі залежить від співвідношення активних і реактивних опорів. За відсутності в електричному ланцюзі реактивних опорів (індуктивності і ємності) всяка зміна активного опору викликає відповідну зміну електричного струму.

В електричних ланцюгах, що містять реактивні опори, зміна електричного струму від одного значення до іншого відбувається, як відомо, не миттєво, а протягом певного часу.

При зміні струму в ланцюзі з індуктивністю і ємністю розрізняють два режими: стаціонарний (сталий) і перехідний (несталий).

У перехідний період користуються штучним прийомом розкладання дійсного струму на дві складові: *періодичну* й *аперіодичну*, тобто  $i = i_n + i_a$  (рис. 1.3).



Розглянемо процес включення ланцюга. Оскільки в початковий момент струм  $i$  дорівнює нулю, тобто,

$$I_o = I_{no} + I_a, \quad (1.1)$$

тоді

$$I_{no} = -I_a.$$

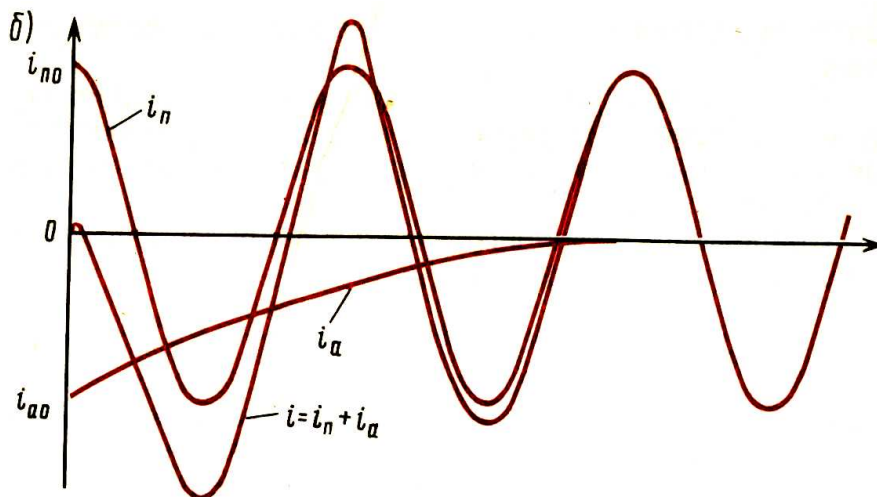


Рис. 1.3 - Криві зміни струму при включенні ланцюга з активним і реактивним опорами

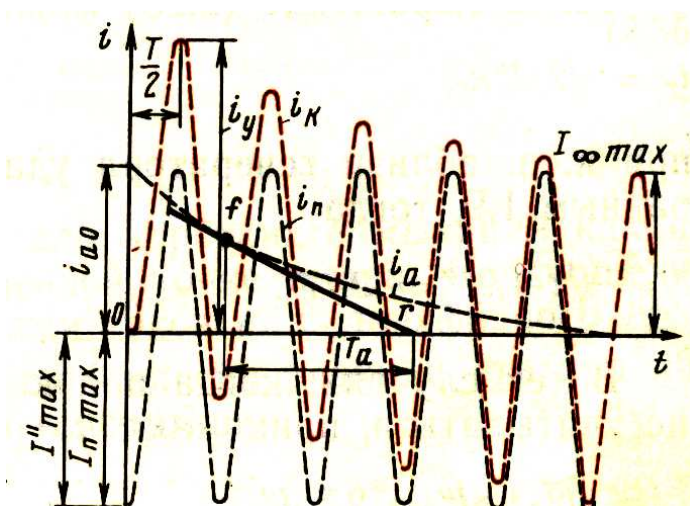


Рис. 1.4 - Зміна струму к.з. при найбільшому аперіодичному струмі

Зміна аперіодичної складової струму за часом відбувається за законом експоненціальної функції (рис1.4) [1 ]:

$$i_a = \frac{U}{r} e^{-\frac{R}{L}t} = i_{n0} \cdot e^{-\frac{t}{T}}, \quad (1.2)$$

де  $e$  - основа натуральних логарифмів;  
 $T = R/L$  - постійна часу, с.

Із збільшенням постійної часу тривалість перехідного режиму збільшується.

### 1.2.2. Розрахунок струмів к.з. на шинах ТП

Для вибору апаратів РУ-6 або -10 кВ тягової підстанції необхідно обчислити величини, що відносяться до шин тягових підстанцій: потужність к.з.  $S_{кз}$ , сталий струм к.з.  $I_{\infty}$  (струм після перехідного процесу до спрацьовування захисту), струм за час  $t = 0,15$  с, ударний струм к.з.  $i_y$  (миттєве максимальне значення струму к.з. в перший напівперіод), діюче значення струму к.з.  $I_{\theta}$ . Визначаючи струми к.з. на шинах тягової підстанції, найчастіше доводиться мати справу із заданими струмами к.з. на шинах центру живлення (ЦЖ) або розподільного пункту (РП).

У цьому випадку електрозабезпечуюча організація повідомляє наступні величини:

$U_n$  - номінальна напруга, кВ;

$S_{кз}$  і  $I_{\infty}$  - потужність і струм к.з., зв'язані рівнянням

$$S_{кз} = \sqrt{3} I_{\infty} U_n ; \quad (1.3)$$

\* відношення діючого значення початкового надперехідного струму до сталого струму

$$\beta'' = I'' / I_{\infty}, \quad (1.4)$$

(для сучасної могутньої системи  $\beta'' = 1$ );

\* номінальні дані реакторів ланцюга ліній, що живлять тягові підстанції,

$U_{нр}$ ,  $I_{нр}$ ,  $x_p$ ;

\* схему живлення тягових підстанцій (роздільна або паралельна робота введень 6 або 10 кВ).

Струми к.з. з шин розподільного пункту або підстанції перераховують на шини тягової підстанції при  $\beta'' = 1$  в наступному порядку:

\* визначають струм к.з. на шинах розподільного пункту

$$I_{\infty} = S_{кз} / \sqrt{3} U_n ; \quad (1.5)$$

- \* знаходять індуктивні опори (в Омах) системи від генераторів до шин розподільного пункту або підстанцій при  $\beta'' = 1$ ;

$$X''_{сист} = x_{тсист} = x_{\infty} = \frac{1,05 \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_n}, \quad (1.6)$$

де 1,05 – надають для обліку підвищеної напруги на генераторі;

- \* знаходять опір лінії, який може складатися з опору реакторів і кабельних ліній.

Опір реакторів  $x_p$  обчислюють за формулою:

$$x_p = \frac{x_p \% \cdot U_n}{100 \cdot I_{нр}}. \quad (1.7)$$

Опір кабельної лінії знаходять з середніх питомих значень:  $x_{каб} = 0,08$  Ом/км для 6 і 10 кВ;  $x_{каб} = 0,12$  Ом/км для 35 кВ; для повітряної лінії приймають  $x_{лін} = 0,4$  Ом/км.

- \* результуючий опір від генераторів до шин тягової підстанції визначають, виходячи із заданої схеми електропостачання:

$$Z_{\infty} = \sqrt{(x_{сист} + x_p + x_{лин})^2 + r_{кбв}}; \quad (1.8)$$

- \* струм к.з. на шинах тягової підстанції;

$$I_{\infty кз} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{\infty}}; \quad (1.9)$$

- \* ударний коефіцієнт знаходять за кривою, щонаведена приведеної на рис. 3.5 , виходячи із відношення:

$$\frac{\sum x}{r_{лин}} = \frac{x_{сист} + x_p + x_{лин}}{r_{лин}}. \quad (1.10)$$

Ударний струм і діюче значення струму к.з. обчислюють за формулою :

$$i_y = \sqrt{2} \cdot I'' \cdot K_y; \quad I_y = I'' \cdot \sqrt{1 + 2(K_y - 1)^2}. \quad (1.11)$$

Оскільки  $\beta'' = 1$ , коефіцієнт  $K_y$  можна прийняти як таким, що дорівнює 1,8 або визначити по кривій (рис.1.5).

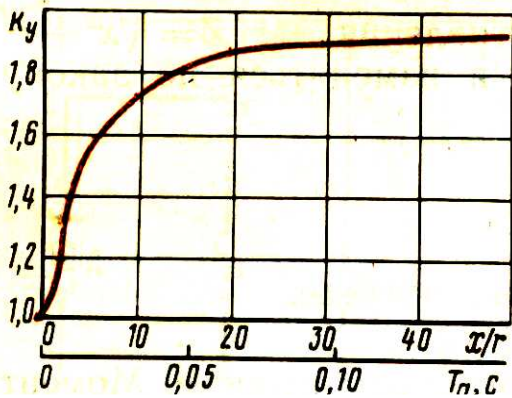


Рис. 1.5 – Значення ударного коефіцієнта  $k_y$  залежно від постійної часу  $T_a$

**Приклад 2.1.** Визначити струми к.з. на шинах першої і другої тягових підстанцій ТП1 і ТП2 (рис.1.6,а). В нормальному режимі обидві тягові підстанції сполучені між собою через кабель зв'язку (це самий оптимальний варіант електропостачання міського електричного транспорту).

Розрахунок слід вести як для найгіршого випадку, коли включені обидва кабелі тягової підстанції ТП1.

Опір системи від генератора до шин РП1:

$$X_{I \infty} = \frac{1,05 \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_y} = \frac{1,05 \cdot 10,5}{1,73 \cdot 13} = 0,49, \text{ Ом.}$$

Опір двох паралельних кабелів з алюмінієвими жилами при питомому опорі  $x_k = 0,08 \text{ Ом /км.}$

$$x_2 = \frac{x_k \cdot l_k}{2} = \frac{0,08 \cdot 3,5}{2}, \text{ Ом;} \quad r_2 = \rho_a \cdot \frac{l_r}{2 \cdot S_k} = 0,028 \cdot \frac{3500}{2 \cdot 120} = 0,41, \text{ Ом.}$$

Опір кабелю зв'язку між підстанціями

$$x_3 = x_k \cdot l_k = 0,08 \cdot 2,5 = 0,2, \text{ Ом;} \quad r_3 = \rho_a \cdot \frac{l_r}{2 \cdot S_k} = 0,028 \cdot \frac{2500}{2 \cdot 95} = 0,74, \text{ Ом.}$$

Опір повітряної лінії із сталевалюмінієвими проводами ( $x_{np} = 0,4, \text{ Ом /км;}$   $r_{np} = 0,91 \text{ Ом /км.}$ ):

$$x_4 = 0,4 \cdot 1 = 0,4 \text{ Ом;} \quad r_4 = 0,91 \cdot 1 = 0,91, \text{ Ом.}$$

Опір реактора за формулою (1.7)

$$x_5 = 0,03 \cdot \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 0,5} = 0,35, \text{ Ом.}$$

Опір системи від генератора до шин РП2, аналогічно (1.6)

$$x_6 = \frac{1,05 \cdot 10,5}{1,73 \cdot 17} = 0,37, \text{ Ом.}$$

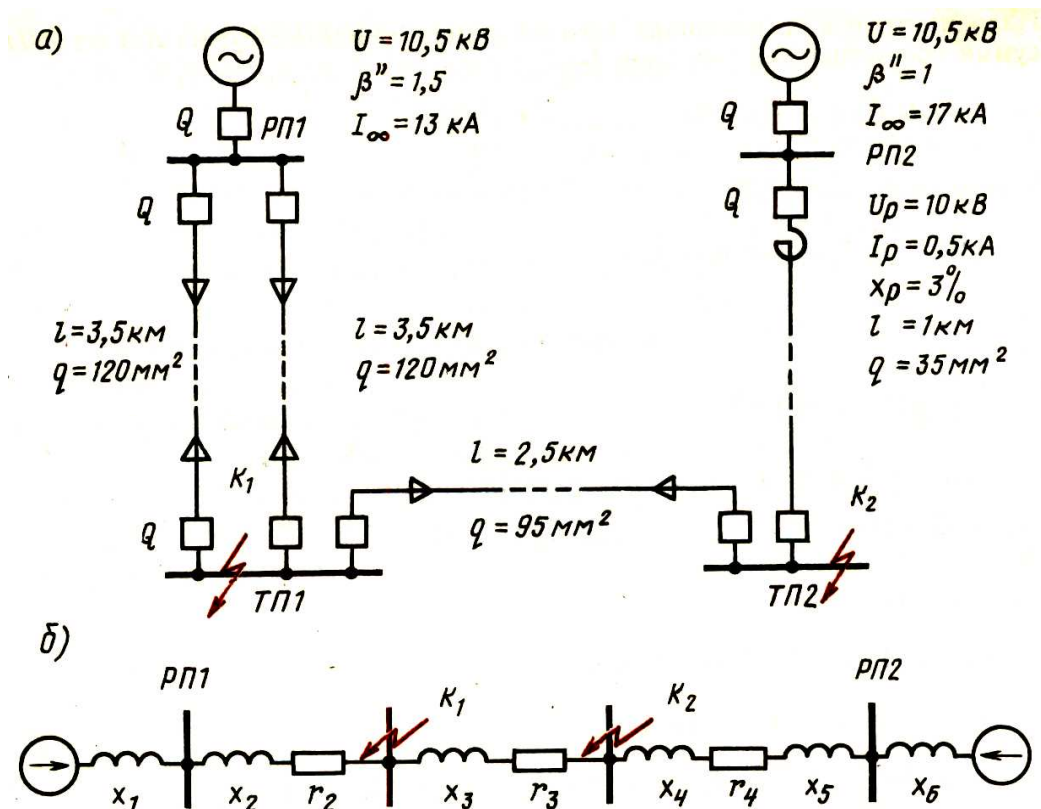


Рис. 1.6 - Схеми до розв'язання прикладу: а – розрахункова схема; б – схема заміщення

Знаходимо струм к.з. на шинах тягової підстанції ТП1 (точка  $K1$ ) від РП1;

- сумарне опору ділянок 1-2:  $x_{1-2} = 0,49 + 0,14 = 0,63$ , Ом;  $r_{1-2} = 0,41$ , Ом;

- повний опір:  $Z_{1-2} = \sqrt{0,63^2 + 0,41^2} = 0,75$ , Ом;

- струм к.з.  $I_{I,\infty} = \frac{1,05 \cdot 10}{1,73 \cdot 0,74} \cdot \frac{1,05 \cdot 10}{1,73 \cdot 0,74} = 8,23$ , кА;

- ударний коефіцієнт по кривий (рис.1.5) при  $x_{1-2} / r_{1-2} = 0,63 / 0,41 = 1,53$ , Ом; складе  $k_y = 1,11$ ;

- ударний струм к. з.  $i_y = \sqrt{2} k_y \cdot I = 1,41 \cdot 1,11 \cdot 9,8 = 15,4$  кА;

- діюче значення струму к. з.

$$I_y = I'' \cdot \sqrt{1 + 2(K_y - 1)^2} = 9,8 \sqrt{1 + 2(1,11 - 1)^2} = 10,4 \text{ кА.}$$

Знаходимо струм к. з.  $I_{4-6}$  на шинах тягової підстанції ТП2 (точка  $K2$ ) від РП2:

$$x_{4-6} = 0,4 + 0,35 + 0,37 = 1,12 \text{ Ом}; \quad r_4 = 0,91 \text{ Ом};$$

$$Z_{4-6} = \sqrt{1,12^2 + 0,96^2} = 1,44 \text{ Ом};$$

$$I''_{4-6} = \frac{1,05 \cdot 10}{1,73 \cdot 1,44} = 4,18, \text{ кА};$$

Знаходимо струм к.з.  $I_{3-6}$  на шинах тягової підстанції ТП1 (точка  $K1$ ) від РП2:

*опори ділянок 3—6:*

$$x_{3-6} = x_3 + x_{4-5} = 0,2 + 1,12 = 1,32, \text{ Ом};$$

$$r_{3-6} = r_3 + r_4 = 0,73 + 0,91 = 1,64, \text{ Ом}$$

$$Z_{3-6} = \sqrt{1,3^2 + 1,64^2} = 1,58, \text{ Ом};$$

$$I_{3-6} = \frac{1,05 \cdot 10}{1,73 \cdot 1,58} = 3,85, \text{ кА}.$$

Паралельне живлення тягової підстанції від різних РП звичайно не допускають, але якщо воно буде здійснене, то струм к.з. на шинах підстанції ТП1, якщо нехтувати відмінністю в індуктивних опорах, буде

$$I_{\infty} = 8,23 + 3,85 = 12,08 \text{ кА}.$$

Аналогічним чином може бути визначений струм к.з. на тяговій підстанції ТП2 при паралельному живленні від РП1 і РП2.

### ***1.2.3. Електродинамічна дія струму к. з.***

Струм к.з. викликає в провідниках і апаратах механічні зусилля, які можуть призвести до руйнування устаткування. Тому правильно вибрані шини і апарати мусять володіти достатньою електродинамічною стійкістю проти

ударної дії струму к.з. Для цього необхідно визначити електродинамічні сили установки.

Згідно із законом Біо-Саварра сила взаємодії між двома паралельними провідниками, н:

$$F = \pm 2,04 \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \frac{l}{a} 10^{-7}, \quad (1.12)$$

де  $a$  — відстань між провідниками, м;

$l$  — довжина провідників, м;

$I_1$  і  $I_2$  — струм в провідниках, А.

У системі трифазного струму при розташуванні шин в одній площині найбільше згинаюче зусилля,  $F$ ,  $H$ , виникає в середній шині:

$$F^{(3)} = (\sqrt{3}/2) \cdot 2,04 \cdot l / a \cdot 10^{-8} = 1,76 \cdot l / a \cdot 10^{-8}, \quad (1.13)$$

де  $\sqrt{3}/2$  — коефіцієнт, що враховує неспівпадання миттєвих значень ударного струму у фазах;

$a$  — відстань між шинами, м;

$l$  — довжина прольоту між опорними ізоляторами, м;

$i_y$  — ударний струм к. з., кА.

Шина по суті є навантаженою багатопролітною балкою із згинаючим моментом  $M$ , Н·м,

$$M = F^{(3)} \cdot l / 10. \quad (1.14)$$

Найбільша механічна напруга металічної шини, Н:

$$\sigma_{\text{розр}} = M / W. \quad (1.15)$$

Для розташування шин «навзнаки»

$$W = b \cdot h^2 / 6. \quad (1.16)$$

Розрахункова напруга в шинах повинна бути менше допустимої напруги  $\sigma_{\text{доп}}$  для даного металу.

#### **1.2.4. Термічна дія струмів к. з.**

Електричний струм, протікаючи проводами, викликає їх нагрівання. Розрізняють два режими нагрівання: робочим струмом і струмом к.з. Нагрівання провідника в робочому режимі характерне тепловою рівновагою, при якій кількість тепла, що виділяється в провіднику, дорівнює кількості тепла, що віддає провідник в оточуюче середовище. Провідник при цьому набуває певної температури.

Тривале перевищення найбільшої допустимої температури провідників над температурою навколишнього середовища в робочому режимі погіршує якість контактних з'єднань і викликає старіння ізоляції провідників.

З цих міркувань усі електричні апарати, провід і кабель вибирають так, щоб їх температура не перевищувала значень, що приведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Вид провідника	Напруга, кВ, до	Т, °С
Шини і неізолюваний провід (мідний й алюмінієвий)	20	70
Кабель з паперовою ізоляцією	3	80
	6	65

Струм к. з. у багато разів більше робочого струму, але протікає протягом невеликого проміжку часу — до моменту відключення його вимикачем. Внаслідок цього вважають, що тепло, що виділяється в провіднику, не встигає розсіюватися в оточуючу атмосферу і викликає різке підвищення температури провідника. Цей процес носить назву адіабатичного.

Оскільки в режимі к.з. інтенсивний нагрів провідника триває порівняно нетривалий час, то граничну температуру нагріву провідника для цього короткочасного режиму допускають значно більшого значення, ніж для нормального тривалого режиму (табл. 1.2).



Таблиця 1.2

Вид провідника	T, °C	Площа перетину S, мм <sup>2</sup>
Шини мідні	300	171
Шини алюмінієві	200	88
Кабель з алюмінієвими жилами і паперовою ізоляцією до 10 кВ	200	85

Дійсний час протікання струму к.з. визначають складанням часу дії захисту  $t_{зах}$  і часу дії вимикаючих апаратів  $t_{вим}$ :

$$t = t_{зах} + t_{вим}. \quad (1.17)$$

Проте в розрахунках використовують так званий приведений час  $t_{пр}$ .

За приведений час сталий струм короткого замикання  $I_{кз}$  виділяє в провіднику таку ж кількість тепла, що і дійсний змінний в часі струм к.з.  $I_{кз}$  за дійсний час.

Приведений час складається з двох складових струму: з періодичною і аперіодичною:

$$t_{пр} = t_{пр.п} + t_{пр.а}. \quad (1.18)$$

При дійсному часі  $t < 5$  с час  $t_{пр.п}$  знаходять по кривих (рис.1.7), де  $\beta'' = I''/I_{\infty}$ . Якщо дійсний час  $t > 5$  с, то  $t_{пр.п} = t_{пр.5} + (t - 5)$ , де  $t_{пр.5}$  – приведений час для  $t = 5$  с. При  $\beta'' = 1$  час  $t_{пр.п} = t$ . Приведений час аперіодичної складової  $t_{пр.а} = 0,05 (\beta'')^2$  не враховується, якщо  $t < 1$ .

Температуру струмоведучих провідників в режимі к.з. розраховують по кривих (рис. 1.8).

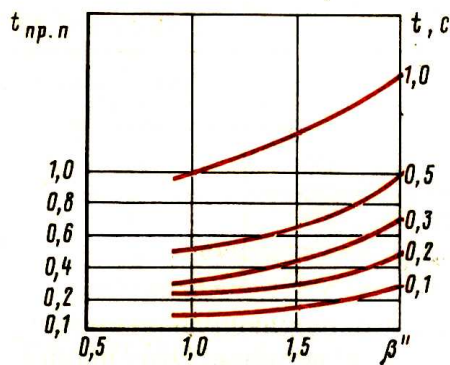


Рис.1.7 - Криві приведенного часу періодичної складової струму к.з

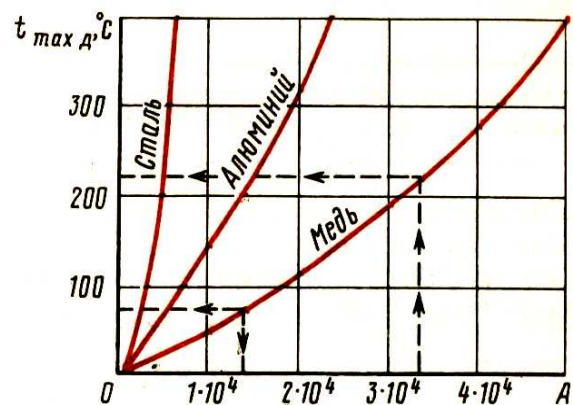


Рис.1.8 - Розрахункові криві для визначення температури нагріву провідників

Тут вводять поняття “тепловий еквівалент  $A$ “, який пропорційний квадрату відношення струму до перетину провідника, помноженого на приведений час.

Для визначення максимально допустимої температури провідника спочатку визначають значення початкового теплового еквівалента  $A_n$  по кривих (рис. 3.8) залежно від гранично допустимої температури провідника і його матеріалу. Потім визначають тепловий еквівалент в режимі к.з.

$$A_{кз} = (I_{\infty}/S)^2 \cdot t_{np}, \quad (1.19)$$

де  $S$  — перетин провідника,  $\text{мм}^2$ ;

$I_{\infty}$  — сталий струм к.з., А;

$t_{np}$  — приведений час, с.

Кінцевий тепловий еквівалент, по якому по кривих знаходять кінцеву температуру провідника, буде

$$A_{кон} = A_n + A_{кз} \quad (1.20)$$

Мінімальний допустимий перетин провідника  $S_{min}$  за умови термічної стійкості,  $\text{мм}^2$ :

$$S_{min} = \frac{I_{\infty}}{C} \sqrt{t_{np}}, \quad (1.21)$$

де  $C$  — значення постійної нагріву, що приводиться в [1]

### 1.3. Структура і класифікація тягових підстанцій

Тягові підстанції міського електротранспорту служать для перетворення трифазного змінного струму напругою 6 або 10 кВ в постійний струм (напругою в залежності від виду електричного транспорту).

Напруга постійного струму для міського електротранспорту прийнята: на струмоприймачі трамвая і тролейбуса - 550 В, на шинах тягових підстанцій 600В, на струмоприймачі рухомого складу метрополітену - 750 В, на шинах тягових підстанцій - 825 В.

Живлення ТП електроенергією проводять повітряними або кабельними лініями напругою 6 або 10 кВ (рис. 1.9,1.10). Від енергосистеми струм поступає в розподільний пристрій вищої напруги підстанції.

Розподільний пристрій служить для прийому і розподілу електроенергії. Він складається із збірних шин, оперативних і захисних апаратів, вимірювальних приладів і допоміжних апаратів. До розподільного пристрою приєднані перетворювальні агрегати і трансформатори власних потреб.

Перетворювальні агрегати складаються з перетворювальних трансформаторів і випрямлячів.

Тягові підстанції можуть бути одноагрегатними (рис. 1.9) і багатоагрегатними (рис. 1.10). На перших резервування здійснюється тим, що у випадку виходу їх з ладу тягове навантаження беруть суміжні підстанції. На багатоагрегатних підстанціях надійність роботи здійснюється вживанням резервних агрегатів та інших резервних пристроїв.

Електроенергія випрямленого струму через розподільний пристрій постійного струму, позитивні і негативні лінії поступає до тягової мережі.

*За призначенням* підстанції бувають: трамвайні, тролейбусні, трамвайно-тролейбусні, метрополітену та залізничі.

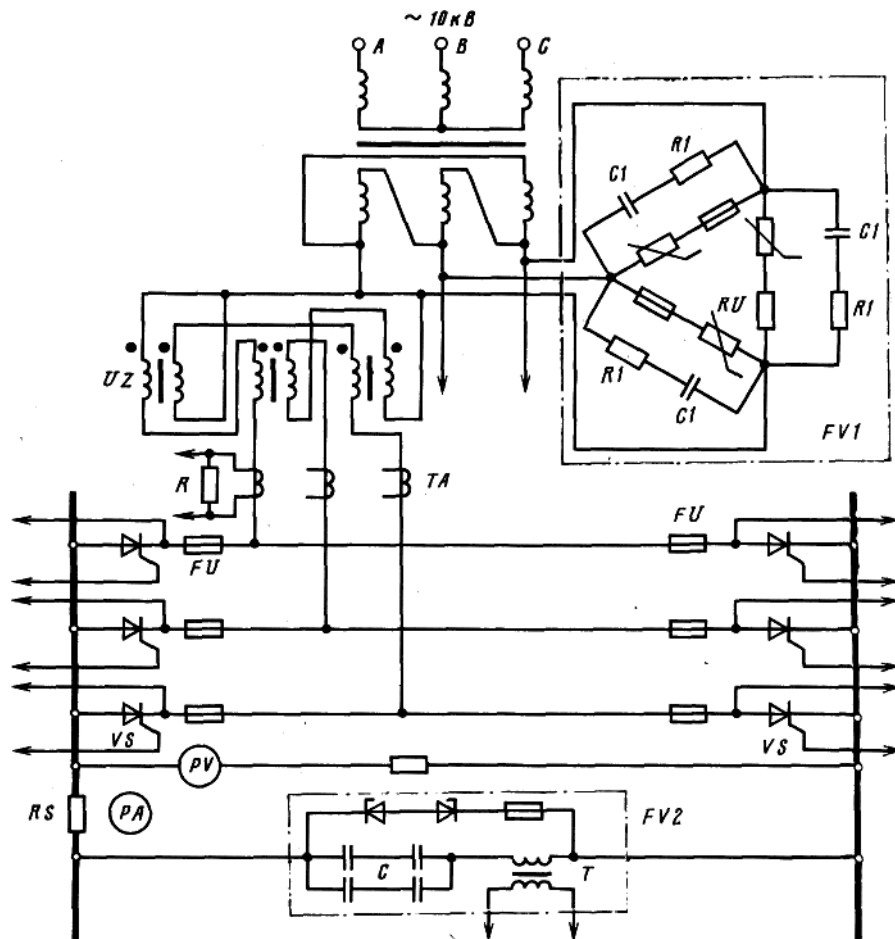


Рис. 1.9 – Структурна схема одноагрегатної тягової підстанції з тиристорним керуванням

*За типом перетворювачів* — підстанції з некерованими випрямлячами із застосуванням кремнієвих силових вентилів (діодів) і з керованими випрямлячами на тиристорах.

*За способом резервування* — з резервними агрегатами (багатоагрегатні підстанції - рис. 1.10) або з резервом по потужності (одноагрегатні підстанції - рис. 1.9).

*За способом керування* — підстанції ручного керування, де автоматизовані в основному лише захист обладнання від порушення нормального режиму роботи зосередженого або централізованого живлення, оскільки вони живлять відносно великий район тягової мережі.

Резервування устаткування тягових підстанцій ручного управління проводять поагрегатно. Підстанції автоматичні, що працюють без персоналу («на замку»); підстанції напівавтоматичні, на яких додатково автоматизовані

деякі відповідальні і трудомісткі процеси керування і контролю основних технологічних операцій; автотелекеровані підстанції, якими додатково управляють і контролюють з диспетчерського пункту.

*За принципом внутрішнього електропостачання* підстанції можуть бути одно агрегатними(що здійснюють децентралізоване електропостачання) і багатоагрегатними (при централізованому електропостачанні). Одноагрегатні підстанції розташовують в безпосередній близькості до контактної мережі і мають по два коротких позитивних і два негативні кабелі 600 В.

*За конструктивним виконанням* підстанції ділять на стаціонарні й пересувні. Стаціонарні підстанції в свою чергу підрозділяють на закриті і напіввідкриті (частина обладнання, трансформатори — встановлюють зовні будівлі), одноповерхові і багатоповерхові, наземні і підземні, окремо стоять або вбудовані в споруди іншого призначення. Найбільшого поширення в проектній і будівельній практиці набули наземні підстанції. Для централізованого електропостачання трамвая і тролейбуса їх будують трьох агрегатними.

### **1.3.1. Коротка характеристика однолінійної електричної схеми тягової підстанції**

Структурна схема є основним документом, який дозволяє судити щодо основних специфічних особливостей підстанції. Схема відображає з'єднання основних апаратів, число перетворюючих агрегатів, типи основного устаткування, види захисту, місця включення основних вимірювальних приладів, позначення марок кабелю, матеріали і розміри шин. Порядок включення апаратів у структурній схемі повинен відповідати дійсності. Виконання перерахованих вимог до структурних схем дозволяє використовувати їх для складання специфікації на основне устаткування. З метою забезпечення максимальної наочності і простоти користування, структурні схеми здійснюють в однолінійному виконанні, а однотипні апарати позначають прямокутниками.

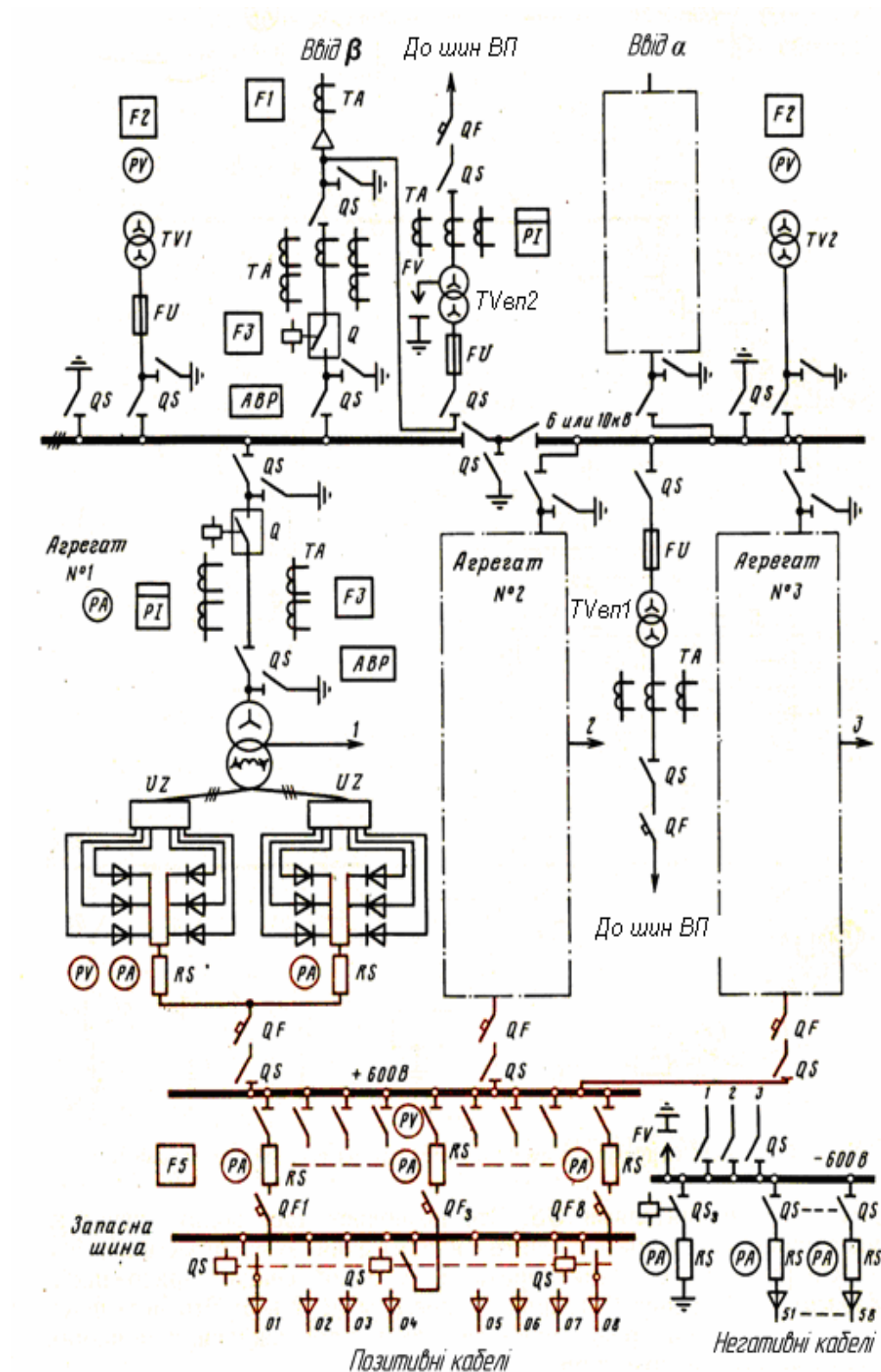


Рис. 1.10 - Схема електрична принципова однолінійна трьохагрегатна ТП

Розглянемо структурні схеми трьох- і одноагрегатної тягових підстанцій. Позначення апаратів повинне виконуватися відповідно до стандартів і ЄСКД [5,9,12].

На трьохагрегатній підстанції (рис. 1.10) масляний вимикач вводу 6 або 10 кВ і трансформатори струму  $PA$  приєднані між двома розмикачами  $QS$ . Це дозволяє проводити ревізію вказаних апаратів без зняття напруги із збірних шин.

Збірні шини «РУ 6-10 кВ» секціоновані. До однієї секції приєднаний агрегат №1, до іншої секції — агрегати № 2 і № 3. Це підвищує надійність роботи підстанції, оскільки при пошкодженнях на шинах частина агрегатів може продовжувати працювати.

У системі «РУ-600В» є три збірні шини: робоча (позитивна) «РУ +600В», запасна (позитивна) «РУ +600 В» і негативна «РУ -600 В».

Наявність запасної шини, запасного вимикача  $QS_{зан}$  і перемикачів  $QS$  дозволяє будь-який з лінійних вимикачів ліній відключити для ревізії без порушення живлення лінії. Від збірної шини «РУ - 600 В» відходять кабелі ліній  $S1—S8$ .

Для забезпечення техніки безпеки під час ремонту на підстанції і на лініях шина «РУ - 600 В» може бути заземлена за допомогою контактора розмикача  $QS3$ .

Живлення збірних шин власних потреб ВП змінного струму здійснюють двома трансформаторами ВП: один трансформатор  $TV_{ВП1}$  приєднаний до збірних шин 6 або 10 кВ, а другий трансформатор  $TV_{ВП2}$  — до резервного введення 6 або 10 кВ. Трансформатор струму в ланцюзі агрегату  $TA$  живить амперметр  $PA$ , лічильник реактивної енергії  $PI$ , максимальний струмовий захист  $P3$ .

Структурна схема одноагрегатної підстанції (рис.10.4) відрізняється від схеми трьохагрегатної підстанції тим, що відсутній масляний вимикач на вводі 6 або 10 кВ, на агрегаті не встановлюється катодний автомат, а в «РУ +600 В» немає запасної шини. У зв'язку з цим облік електроенергії здійснюють лічильниками, що встановлені на агрегаті і в ланцюзі вторинної обмотки  $TV_{ВП}$  вводу низької напруги. Резервування лінійного вимикача здійснюють вимикачем  $QF$  сусідньої підстанції.

На одноагрегатних підстанціях з тиристорними випрямлячами (рис.1.9) ТПЕ відсутні лінійні вимикачі, оскільки кожний з випрямлячів живить окрему лінію.

Підстанція має перетворювальні агрегати, а також позитивні і негативні живильні лінії. Резервування позитивних живильних ліній здійснюють за допомогою запасного вимикача (ШСА) і запасної шини.

За наявності двох введів РУ 6-10 кВ їх приєднують до шин через шинні розмикачі *QS*. Це дозволяє працювати на одному з введів, а інший тримати як резерв. Вводи 10 кВ забезпечені максимальним струмовим захистом і схемою АВР (автоматичного включення резерву).

Захист перетворювальних агрегатів здійснюють максимально-струмовим із струмовим відсіченням. Захист випрямлячів від струмів зворотного напрямку здійснюють за допомогою катодних швидкодіючих автоматичних вимикачів ВАБ-43.

Захист позитивних живильних ліній здійснюють вимикачами, які аналогічні ВАБ-43, – вимикачами ВАТ-43.

На тягових підстанціях застосовують наступні види захисту:

- F1* — земляний ввід 6 або 10 кВ;
  - F2* — від пониження напруги на вводах 6 або 10 кВ;
  - F3* — максимальний струмовий (ввід 6 або 10 кВ і агрегатів);
  - F4* — захист від перенапруження;
  - F5* — контроль ізоляції;
  - F6* — захист від пробоя між обмотками трансформатора ВП (пробивний запобіжник);
  - F7* — газовий захист трансформатора;
  - F8* — баластний захист (від пробоя діодів або тиристорів);
  - F9* — температурний захист (від перегріву силових трансформаторів).
- Приведені на рис. 1.9 і рис.1.10 структурні схеми підстанцій необхідно доповнити схемою ВП.



## **Розділ 2. Конструктивні вузли і типи тягових підстанцій**

### **2.1. Загальні відомості**

Тягова підстанція є будівлею, що спеціально призначена для зручного й економічного розміщення в ній основного і допоміжного устаткування і кабелів.

Тягові підстанції повинні бути конструктивно виконані з урахуванням цілого ряду вимог, які можна згрупувати за декількома ознаками.

Перш за все, тягові підстанції повинні задовольняти вимогам Правил обладнання електроустановок, «Правил технічної експлуатації перетворюючих установок», «Правил техніки безпеки» і «Правил пожежної безпеки».

Тягові підстанції повинні задовольняти і таким загальним вимогам експлуатації, як надійність і безперебійність роботи, економічність і зручність експлуатації, а також вимогам загальної санітарії.

При будівництві нових тягових підстанцій, як і всіх інших споруд, повинна враховуватися економічна доцільність величини первинних витрат і поточних експлуатаційних витрат.

Тягові підстанції, які обладнані кремнієвими випрямлячами, набагато простіші, оскільки відпала необхідність в складних і дорогих санітарно-технічних пристроях. Простота керування і висока надійність кремнієвих випрямлячів сприяла тому, що системи електропостачання з одноагрегатними підстанціями набули широкого поширення на вилетних і нерозгалужених лініях. До наголошених вище достоїнств системи електропостачання з одноагрегатними підстанціями, слід віднести вищу надійність роботи, можливість створення комплексної автоматики, що дозволяє перевести підстанції на режим автоуправління без телемеханічних пристроїв. Це особливо важливо в умовах гострого дефіциту телефонних дротів зв'язку. Слід також наголосити на вельми цінній експлуатаційній перевазі одно агрегатних підстанцій, яка полягає в тому, що всі огляди і ремонти устаткування на підстанціях можуть проводитись в денний час з повним зняттям напруги.

Необхідно відзначити, що при складній конфігурації тягової мережі, наявності великого числа перехресть і великих транспортних вузлів, питання вибору типу підстанції, типів і числа агрегатів, виду первинного живлення можуть бути правильно вирішені тільки в результаті техніко-економічного порівняння варіантів системи електропостачання, які заздалегідь розробляються з урахуванням конкретної конфігурації транспортної мережі.

*Типи тягових підстанцій.* У даний час в експлуатації знаходиться велика кількість різноманітних типів тягових підстанцій. Нижче розглянуті лише найхарактерніші з них.

У сучасній одноагрегатній тяговій підстанції все устаткування розміщене в одному загальному приміщенні і лише силовий трансформатор винесений в окрему камеру.

Розподільний пристрій 10 кВ дозволяє приєднувати підстанцію до енергосистеми за схемою «лінія—шина» або за радіальною схемою. Підстанція не має резервного устаткування і при необхідності повністю розвантажується по контактній мережі.

Розподільчий пристрій 600 В складається з двох лінійних вимикачів і одного секційного.

При роботі підстанції в режимі автокерування без телемеханіки зовні біля входу передбачається закритий щиток керування основними комутаційними апаратами. При необхідності виконання робіт на контактній мережі із зняттям напруги, бригада служби контактної мережі спеціальним ключем відкриває щиток і вимикає підстанцію.

Проведені дослідження і практика експлуатації показали, що вживання двоагрегатної підстанції доцільне, як правило, лише в системі децентралізованого електропостачання спільно з одноагрегатними підстанціями. Тому двоагрегатна тягова підстанція є по схемі первинної комутації двома одноагрегатними підстанціями. Вона призначена для живлення двох пересічних або рядом їдучих маршрутів трамвая або тролейбуса. Кожний агрегат підстанції повністю розвантажується сусідніми підстанціями з

контактної мережі, а при необхідності - його навантаження може бути прийняте також другим агрегатом.

Багатоагрегатна підстанція істотно відрізняється від одноагрегатної як схемою первинної комутації, так і конструктивним виконанням. Призначена для електропостачання крупних транспортних вузлів і магістралей, вона має розвинений розподільчий пристрій 600 В, що складається з декількох лінійних і одного запасного вимикачів. Конструкція РУ-6 або 10 кВ передбачає приєднання не менше двох вводів від живильних центрів. На першому поверсі розміщуються розподільні пристрої, трансформаторні камери і негативна шина, на другому — випрямлячі, щити управління ними і щити власних потреб.

Конструкція підстанції дозволяє при проектуванні легко міняти кількість агрегатів залежно від необхідної потужності шляхом зміни довжини будівлі.

Двоповерхова будівля зручніша для багатоагрегатних підстанцій, оскільки скорочуються розміри підстанції в плані, що дуже важливе при розміщенні її в обмежених міських умовах. Крім того, скорочуються кабельні комунікації, які мають підстанції. Це дозволяє також виконати трансформаторні камери високими для забезпечення можливості ремонту трансформатора з виїмкою осереддя усередині камери. Недоліком двоповерхових будівель є необхідність спорудження сходової клітки.

Будівлі сучасних автотелекерованих підстанцій, як правило, споруджуються без вікон, що полегшує їх обслуговування. Вікно необхідне лише в службовому приміщенні, що передбачається тільки на багатоагрегатній підстанції.

На сучасних підстанціях санвузол споруджують в тих випадках, коли його приєднання до міської мережі не вимагає великих витрат.

На відміну від розглянутих підстанцій закритого типу (рис. 2.1), де все устаткування встановлюють усередині будівлі, на напіввідкритих підстанціях головні трансформатори встановлюють зовні (рис. 2.2). Така установка трансформаторів дозволяє помітно скоротити будівельний об'єм будівлі

підстанції і, відповідно, скоротити витрати на будівництво. Проте цей спосіб установки трансформаторів має ряд істотних недоліків (установка трансформаторів біля будівлі з відкритими струмоведучими частинами в міських умовах з міркувань безпеки недопустима. Трансформатор необхідно захищати як забором, так і сіткою або іншою конструкцією зверху.

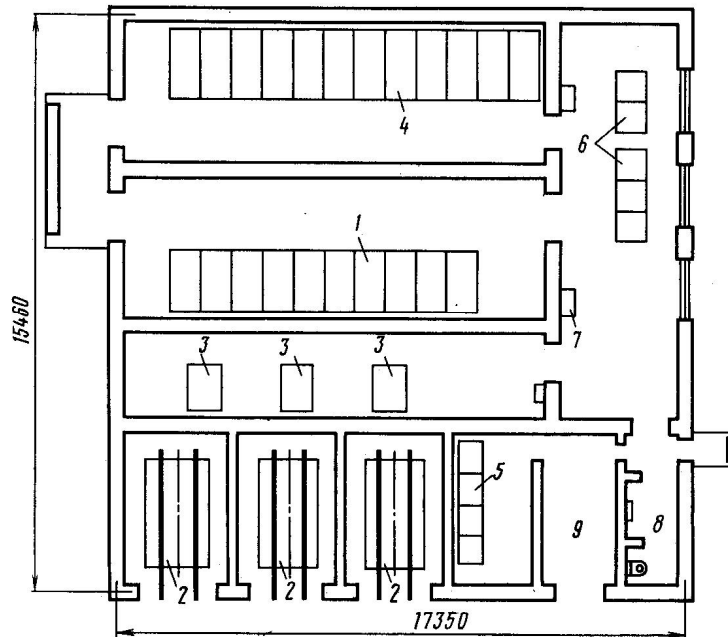


Рис. 2.1- Компонівка устаткування трьохагрегатної закритої ТП:

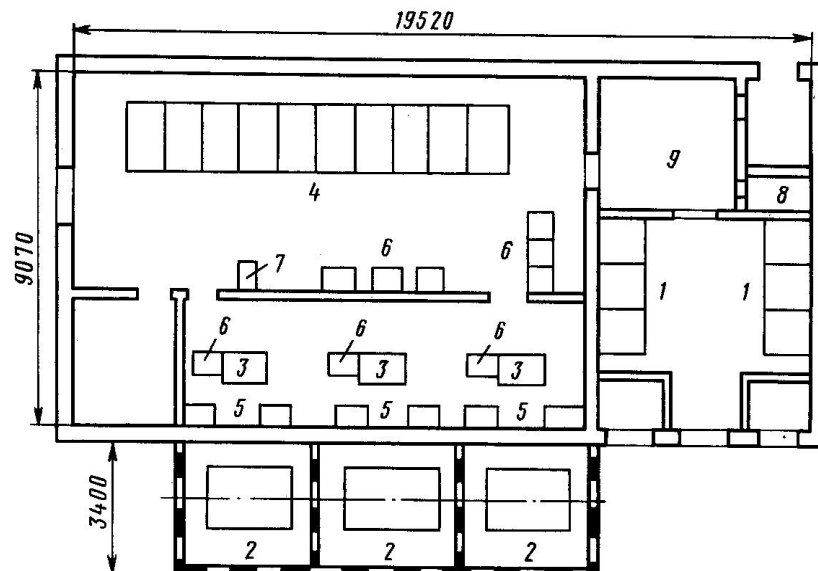


Рис.2.2 - Компонівка устаткування трьохагрегатної напіввідкритої ТП:

- 1 — розподільчий пристрій 6 або 10 кВ; 2 — трансформаторні камери; 3 — кремнієві випрямлячі;  
4 — розподільчий пристрій 600 В; 5 — негативна шина; 6 — щити керування і щити власних потреб;  
7 — шафа телемеханіки; 8 — санвузол; 9 — службове приміщення.

В умовах великого міста підстанції повинні задовольняти високим архітектурним вимогам. Тому підстанції напіввідкритого типу як малоестетичні розміщують далеко від магістралей, що призводить до збільшення довжини кабелів і зростання втрат електроенергії в експлуатації; обслуговування устаткування, яке розміщене зовні будівлі, складніше.

Пересувні підстанції одержали вживання також для посилення живлення окремих ділянок у зв'язку із збільшеними об'ємами руху.

Для споруди пересувних підстанцій іноді використовують старі чотиривісні трамвайні вагони. Для такої підстанції потрібне будівництво рейкового шляху. Найбільш зручним є розміщення підстанції на платформах, подібних трайлерам.

Досвід експлуатації пересувних підстанцій показав, що ходову частину їх використовують вельми неефективно. В деяких випадках підстанція стоїть на одному місці 4—5 років, а іноді і триваліший термін. За цей час ходова частина приходить в непридатний стан. Тому доцільнішим є виготовлення не пересувних підстанцій, а тимчасових збірно-комплектних. В своїй більшості збірно-комплектна підстанція дешевша пересувної і зручніше в експлуатації, оскільки компоновка її від схеми телевимірювання напруги схема випрямного, перетворювача струму ВПТ-1 відрізняється лише відсутністю насичуючого дроселя і наявністю неонові лампи НЛ, яка служить для зняття піків напруги вище 100 В, що виникають в лінії при поштовхах і коротких замиканнях.

## **2.2. Призначення, класифікація розмикачів РУ змінного струму**

Розмикачі, які встановлюють в РУ, призначені для зняття напруги з апаратів і машин на період їх ремонту і огляду. Розмикачі не можна включати і відключати під навантаженням. Встановлювати розмикачі потрібно так, щоб у відключеному положенні розмикач був добре видно повітряний проміжок між нерухомим контактом і рухомими ножами. З метою безпеки пробивна напруга повітряного проміжку розмикача повинна бути більше пробивної напруги між

фазами і землею решти струмоведучих частин установки. Розмикачі розраховують для відключення і включення порівняно невеликого струму. За місцем установки розмикачі підрозділяють на розмикачі для внутрішніх і відкритих установок. Розмикачі для внутрішніх установок бувають простими (РВ) і фігурними (РВФ). Фігурні розмикачі мають прохідні ізолятори, що в деяких випадках спрощує монтаж. За числом полюсів розмикачі підрозділяють на одно- і трьохполюсні. У трьохполюсному розмикачі типу РВ-10 (рис. 2.3) рух ножів в трьох фазах відбувається одночасно.

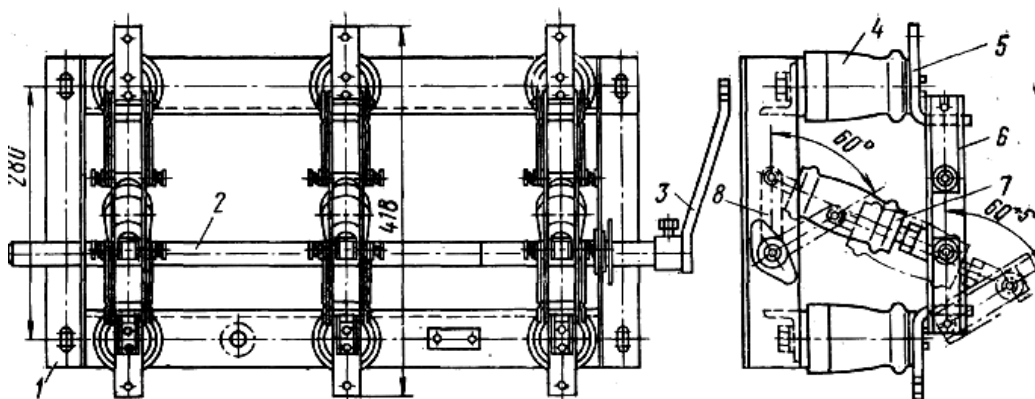


Рис.2.3 - Розмикач РВ-10: 1 — рама; 2 — вал; 3 — важіль; 4 — опорний ізолятор; 5 — нерухомий контакт; 6 — ніж; 7 — тяга з ізолятором; 8 — важіль

Крім штанг розмикачі можуть управлятися за допомогою приводів: важелів, черв'ячних, електрорухових і електромагнітних. Електромагнітні приводи на ТП широко застосовуються для РУ постійного струму 600 В.

### 2.3. Принцип дії, призначення високовольтних запобіжників

Запобіжники, як і вимикачі, захищають електричні установки від шкідливої дії перевантажень і коротких замикань. Якщо вимикач використовують багато разів, плавку вставку запобіжника необхідно міняти після кожного перегорання. Для селективного захисту від струмів перевантаження і коротких замикань необхідно, щоб запобіжник з меншим номінальним струмом вставки перегорав раніше, ніж запобіжник з плавкою вставкою більшого номінального

струму. Для установок, що працюють при напрузі 6-35 кВ, випускають запобіжники ПК з кварцовим наповнювачем (рис. 2.5).

Як матеріал вставки застосовують мідний посріблений провід. Ці запобіжники забезпечені показчиками спрацьовування, які в нормальному стані утримуються в патроні натягненням вказівної вставки, а при її перегоранні - за допомогою пружини показчик виходить за межі патрона.

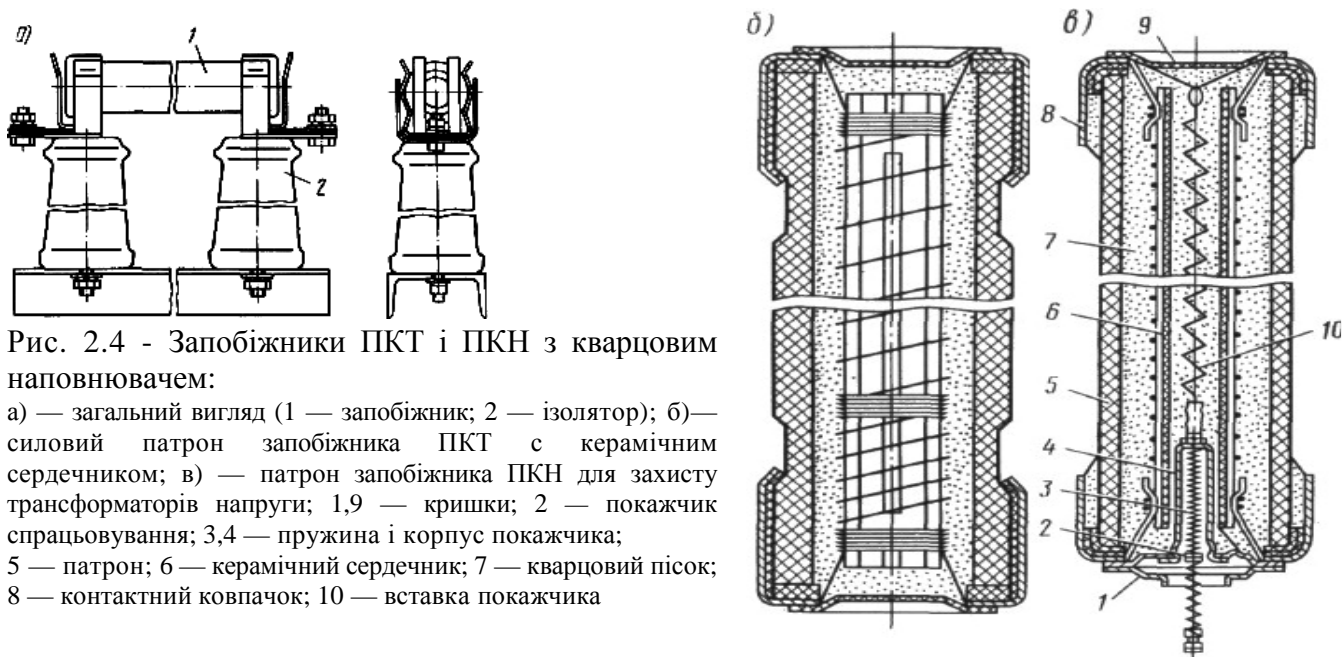


Рис. 2.4 - Запобіжники ПКТ і ПКН з кварцовим наповнювачем:

а) — загальний вигляд (1 — запобіжник; 2 — ізолятор); б) — силовий патрон запобіжника ПКТ с керамічним сердечником; в) — патрон запобіжника ПКН для захисту трансформаторів напруги; 1,9 — кришки; 2 — показчик спрацьовування; 3,4 — пружина і корпус показчика; 5 — патрон; 6 — керамічний сердечник; 7 — кварцовий пісок; 8 — контактний ковпачок; 10 — вставка показчика

Захист низьковольтних ланцюгів (керування автоматики і сигналізації) здійснюють запобіжниками типу ПН-2 (рис. 2.5 ).

*Вибір плавких вставок запобіжників.* Номінальна напруга запобіжників і їх вставок  $U_{вст.ном}$  повинна відповідати напрузі мережі:

$$U_{вст.ном} = U_c. \quad (2.1)$$

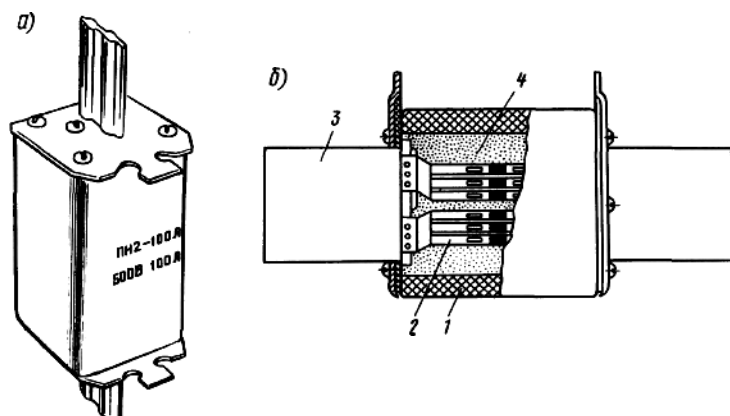


Рис. 2.5 - Запобіжник серії ПН-2:

а) загальний вигляд; б) розріз:

1 — фарфоровий корпус;

2 — плавка вставка; 3 — контактний ніж; 4 — кварцовий пісок

Значне зменшення і збільшення напруги плавкої вставки проти напруги мережі не рекомендується, оскільки це відображається на ампер-секундній характеристиці плавкої вставки.

Гранично струм плавкої вставки  $I_{вст.пр}$ , що відключається, повинен бути рівний або більше максимального розрахункового струму к.з.  $I_{кз.мах}$ :

$$I_{вст.пр} \geq I_{кз.мах}. \quad (2.2)$$

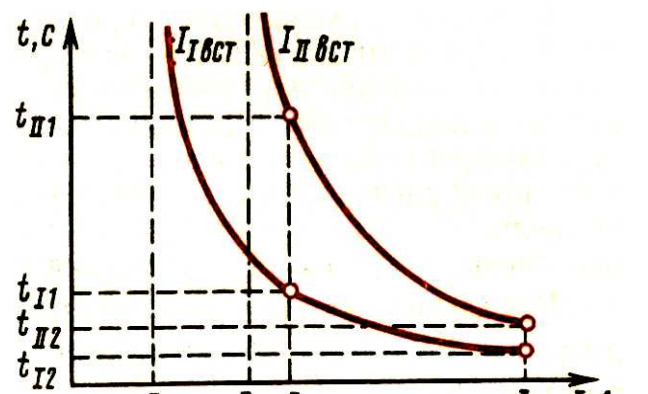


Рис.2.6 - Струмочасові характеристики плавких вставок запобіжників

Плавка вставка не повинна перегорати від максимального тривалого струму навантаження:

$$I_{вст.ном} = \kappa_n I_{нмах}, \quad (2.3)$$

де  $\kappa_n$  - коефіцієнт навантаження, залежить від характеру навантаження (рис. 2.6).

При змінному короткочасному перевантаженні  $I_{пер}$ , коли вона перевищує максимальний тривалий струм  $I_{нмах}$ , плавка вставка також не повинна перегорати:

$$\kappa_n I_{вст.ном} = I_{пер}; \lambda \quad (2.4)$$

де  $\kappa_n$  — коефіцієнт відбудови від перевантаження, який приймають як таким, що дорівнює 2,5 при  $t_{пер} \sim 2 \div 3$  с (легкі умови); 1,5÷2 при  $t_{пер} \sim 10$  с (важкі умови) [1].

За відсутності постійного нагляду за установками, плавкі вставки повинні задовольняти умові

$$I_{вст.ном} = 0,8 I_{доп.пр}, \lambda \quad (2.5)$$

де  $I_{доп.пр}$  — тривало допустимий струм проводу, А.

До перерахованих вимог вибору плавких вставок слід додати ще таке, що забезпечувало б перегорання плавких вставок раніше, ніж відключаються контактори або магнітні пускачі. В цьому випадку час перегорання плавких вставок від струмів к.з. не повинен перевищувати 0,15—0,2 с. Ця вимога викликана тим, щоб виключити можливість відключення к.з. контактами апаратів. Час перегорання плавких вставок від струмів к.з. визначають за



захисною характеристикою запобіжників, але при цьому слід мати на увазі, що розкид захисних характеристик досягає 50%.

Селективність роботи запобіжників може бути забезпечений, якщо час перегорання більшого запобіжника в 3 рази перевищує час перегорання меншого запобіжника.

## **2.4. Призначення і класифікація високовольтних вимикачів**

Вимикачі високої напруги включають і відключають електричні ланцюги при навантаженні і короткому замиканні. Високовольтні вимикачі - одні з найбільш відповідальних апаратів станцій і підстанцій. За способом гасіння дуги вимикачі ділять на масляні і безмасляні. Масляні (в свою чергу) підрозділяють: на багатооб'ємні (бакові) і малооб'ємні (горшкові). Безмасляні вимикачі бувають: повітряними, автогазовими і електромагнітними. Залежно від способу установки вимикачі підрозділяють на вимикачі для внутрішніх і зовнішніх установок; за швидкістю дії: на швидкодіючі, прискореної дії і нешвидкодіючі. На ТГГ найбільшого розповсюдження одержали вимикачі масляні об'ємні ВМП-10-20-630 (рис. 2.7 ), малооб'ємні (ВМГ-10).

Вимикач ВМП-10 (вимикач масляний підвісний) складається з трьох окремих полюсів (рис.2.7). Кожен полюс має бак 5 (рис.2.7,б), який укріплений на опорних ізоляторах 30 рами 24. У рамі розташований на підшипниках вал 27 з важелем, що з'єднує вимикач з приводом. На валу є двоплечий важіль 26, який одним кінцем кріплять до відключаючої пружини 25, а іншим — до тяги 32 приводу. Буферна пружина пом'якшує удар при включенні, а масляний демпфер 31 пом'якшує удар при відключенні. Маслопоказчик 12 дозволяє контролювати рівень масла. Вушка 23 служать для монтажу вимикача. Заземлення каркаса здійснюють болтом 29.

Розглянемо внутрішній устрій вимикача (рис. 2.7,а). До склоепоксидного циліндра 9 кріплять металевий фланець 17 і кришку 14 з нерухомим контактом 16. Над цим контактом розташована камера поперечного

дугтя 19. Механізм приводу рухомого контакту 20 з важелем 6 кріплять до алюмінієвого корпусу 5. Струмоз'єм з рухомого контакту здійснюють роликами 22 з направляючими стрижнями 7 і верхнім виводом 21. Нижній вивід 15 пов'язаний з кришкою 14. Стеклоепоксидний і металевий баки з'єднують фланцем 8. Зверху бак 5 з кришкою 3 має газовідвідний ковпачок 1 і пробку 2 для доливання масла. Під кришкою 3 розміщений масловіддільник 4.

Дугогасильна камера 19 поперечного дугтя складається з набору ізоляційних дисків, що стягнуті ізольованими шпильками. Внизу камери розташовані поперечні дугтеві канали 13, які мають незалежні виходи 11. Великий і середній струм гасять дугтям в поперечних каналах, а малий струм — в масляних кишенях. Процес гасіння дуги відбувається в наступній послідовності: після відриву контакту 20, газу, що утворюється в дузі, не мають виходу через отвори 10 і поперечні канали 13. У цьому випадку створюється великий тиск газів в нижній частині циліндра. Мастило під впливом цього тиску заповнює частину буферного об'єму 18. По мірі переміщення контакторного стрижня 20 вгору газу і мастило з буферного об'єму спрямовуються через поперечні канали 13 в подовжні бічні канали і тим самим гасять дугу. Дуга, яка тягнеться за контактом 20, продовжує розкладати мастило в мастильних кишенях, що також сприяє гасінню дуги. Після відключення вимикача мастило охолоджується і стікає в бак. Витрати мастила практично немає.

Окрім вказаних вище типів вимикачів на напругу 6-10 кВ, в даний час застосовують тиристорні, вакуумні і електромагнітні вимикачі.

В тиристорних вимикачах (рис. 2.8) припинення струму відбувається під час переходу його через нуль в найближчий напівперіод з моменту к.з.

Такі вимикачі знайшли вживання на тягових підстанціях метрополітену і міського електричного транспорту виробництва ЗАТ «Pluton» м. Запоріжжя, вони мають великі переваги перед всіма іншими. Зокрема, вони мають велику швидкодію, не мають механічного приводу, мають можливість замикання

ланцюга кожної фази окремо, що усуває кидок струму при включенні трансформатора.

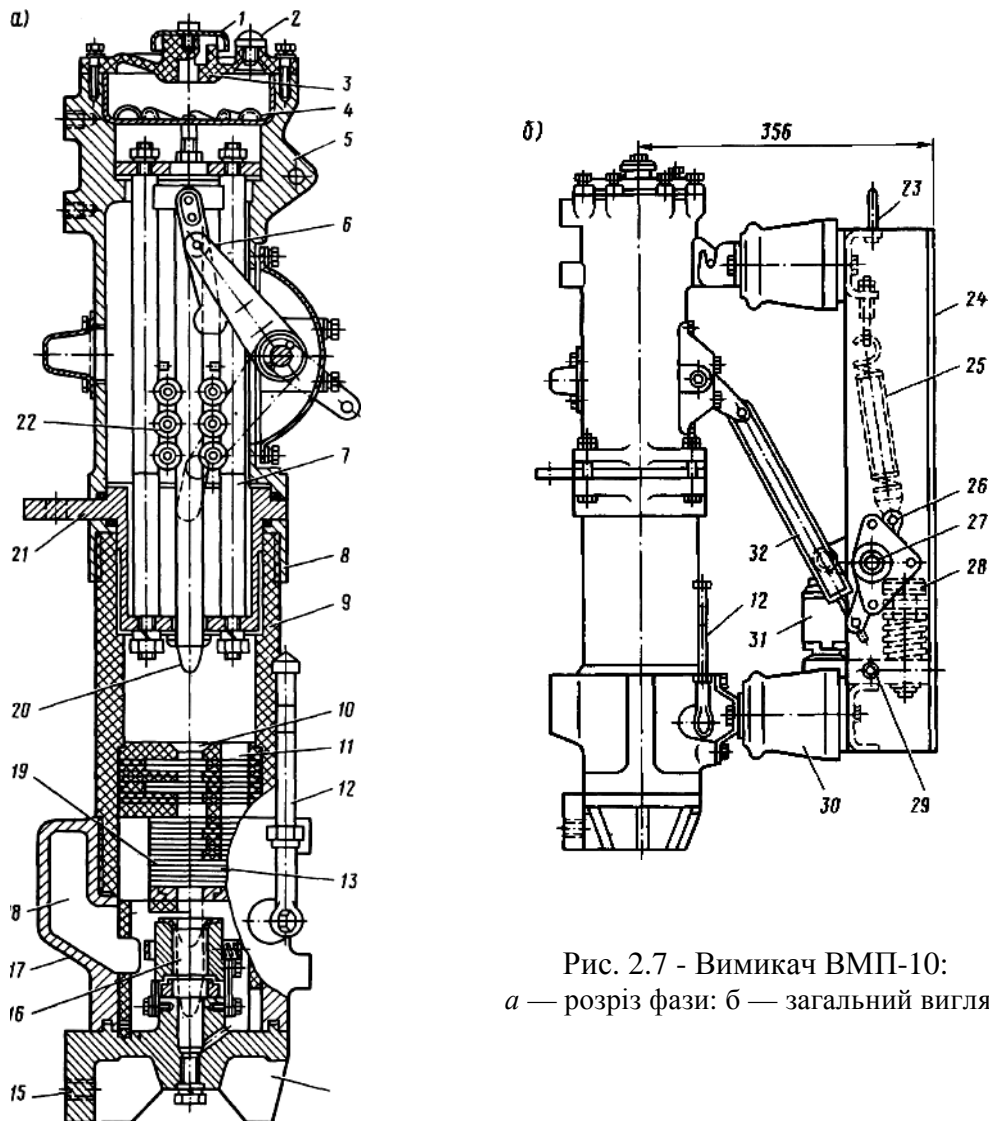


Рис. 2.7 - Вимикач ВМП-10:  
а — розріз фази; б — загальний вигляд

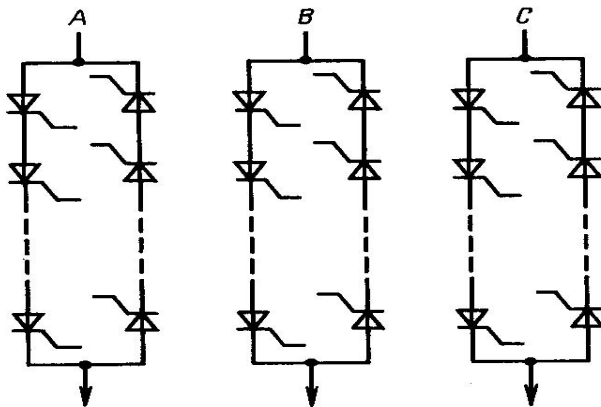


Рис. 2.8 - Принципова схема трифазного тиристорного вимикача

У вакуумних вимикачах при розмиканні контактів дуга між ними практично не виникає, оскільки немає іонізації простору.

Вакуумні вимикачі пройшли успішно випробування на 10 кВ з номінальним струмом 400 А, із струмом відключення до 31,5 кА.

В електромагнітних вимикачах ВЕМ-10 при їх відключенні дуга між контактами сильно подовжується і завдяки магнітному полю втягується в звивисту щілину керамічної дугогасильної камери. Довга електрична дуга має порівняно великий опір, унаслідок чого кут зсуву  $\phi$  близький до нуля, що полегшує гасіння дуги. Електромагнітні вимикачі знайшли застосування на тягових підстанціях метрополітену.

Вибір вимикачів здійснюють за наступними параметрами:

- за напругою установки 
$$U_{уст} \leq U_{ном} \quad (2.6)$$

- за тривалим і максимальним струмом 
$$I_{\infty} \leq I_{ном} ; I_{max} \leq I_{ном} \quad (2.7)$$

- за відключаючою здатністю 
$$\sqrt{2} I_{\infty} \leq \sqrt{2} \leq I_{откл. ном} \quad (2.8)$$

- перевіряють на електродинамічну стійкість 
$$\sqrt{2} I_{\infty} \leq \sqrt{2} \leq I_{откл. ном} \quad (2.9)$$

- перевіряють на термічну стійкість 
$$A_k \leq I_t^2 t \quad (2.10)$$
  
де  $A_k$  - тепловий імпульс за розрахунком;  
 $I_t$  - граничний струм термічної стійкості за тривалість його протікання  $t$ .

Останнім часом найширшого застосування знаходять вакуумні вимикачі.

Приводом вимикача називають окремий або вбудований у вимикач механізм, призначений для включення вимикача, утримання його у включеному положенні і відключення. Приводи можуть бути ручними і дистанційними. З ручних автоматичних приводів на ТП застосовують привід ПРБА. Для дистанційного керування використовують привід ПЭ-П.

## 2.5. Призначення, класифікація ізоляторів. Шини РУ 6-10 кВ.

Ізолятори і шини є елементами розподільних пристроїв. Ізолятори застосовують для кріплення струмоведучих частин і ізоляції струмоведучих

частин між собою, а також від заземлених конструкцій. Ізолятори поділяють: на лінійні, станційні й апаратні. Лінійні ізолятори застосовують для кріплення проводів повітряних ліній; станційні - для кріплення шин в розподільних пристроях. Станційні ізолятори в свою чергу підрозділяють на опорні і прохідні, а за родом установки - для внутрішніх і зовнішніх установок. Шиною називають провідник електричного струму, який призначений для розподілу електричної енергії між різними споживачами. У розподільному пристрої шини служать для прийому електричної енергії і розподілу її між окремими перетворювальними агрегатами, трансформаторами власних потреб і лініями. Шини можуть бути : мідними , алюмінієвими і сталевими. На ТП найчастіше – алюмінієві, прямокутного перетину. Шини забарвлюють кольори при змінному струмі: фаза А - жовта, фаза В - зелена і фаза С - червона. Заземлюючі провідники, всіх конструкцій, проводи і смуги мережі заземлення мають бути забарвлені в чорний колір.

## **2.6. Призначення, класифікація трансформаторів струму і напруги**

Вимірювальними трансформаторами є трансформатори струму (рис. 2.9,2.10) і трансформатори напруги (рис. 2.11,2.12). Вони служать для живлення вимірювальних приладів, реле і різних автоматичних пристроїв. Трансформатори напруги використовують лише в установках високої напруги, а трансформатори струму - як в установках до 1000В, так і в установках вище 1000В.

Основною вимогою до вимірювальних трансформаторів є незмінність співвідношення між первинними і вторинними вимірюваними значеннями обмоток трансформатора, а також збереження фазних кутів трансформованого струму і напруги.

*Трансформатори струму.* За конструкцією і сферою застосування трансформатори струму класифікують по роду установки - для внутрішніх і зовнішніх установок; за числом витків первинної обмотки - одновиткові і

багатовиткові. Одновиткові трансформатори струму (рис. 2.9,а,б) мають первинну обмотку, що складається з одного витка. В цьому випадку трансформатори струму називають стрижньовими. Якщо струмоведучий стрижень є частиною апарату (наприклад вимикача), трансформатори струму (рис. 2.9) називають вбудованими. Коли первинну обмотку використовують як шину розподільного пристрою, такі трансформатори струму називають шинними.

Принцип пристрою трансформаторів струму наведений на рис. 2.9.

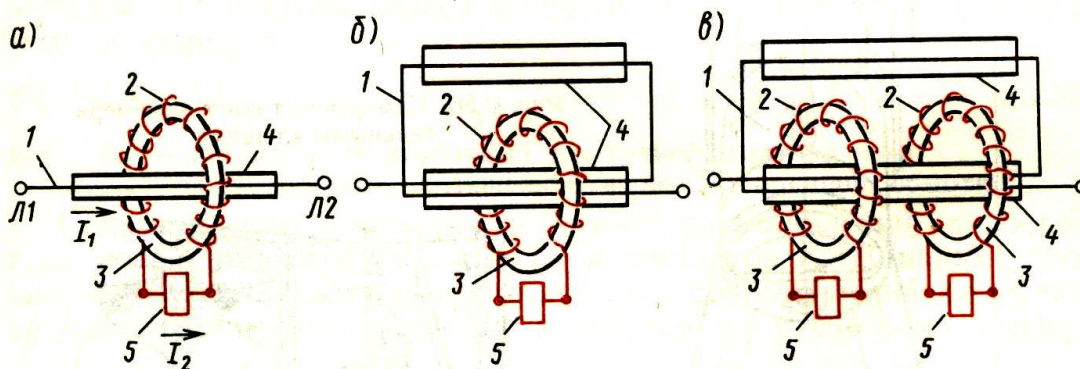


Рис. 2.9. Принцип пристрою трансформаторів струму:

а – одновитковий; б – багатовитковий; в – багатовитковий з двома осердями;  
1 — первинна обмотка; 2 — вторинна обмотка; 3 — осердя; 4 — ізоляція; 5 — обмотка реле

Основними перевагами одновиткових трансформаторів струму є висока електродинамічна і термічна стійкість і відносно малі габаритні розміри і маса. Недоліки - мала точність вимірювання при невеликих струмах.

В наслідок цього стержневі трансформатори струму застосовують при значення первинного струму від 400 А і вище. З багатовиткових трансформаторів струму найбільшого поширення набули трансформатори з литою ізоляцією ТПЛ-10.

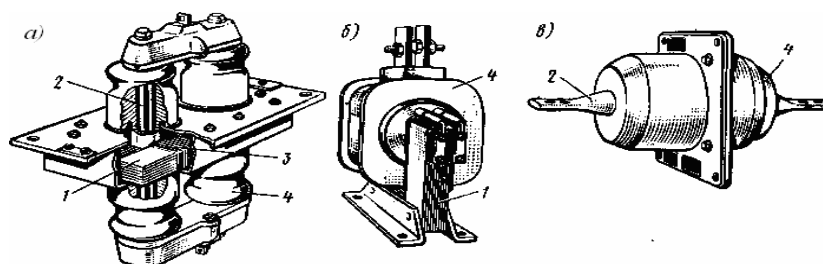


Рис.2.10 - Прохідний багатовитковий - ТПЛ (а), котушковий - ТКФ-3 (б) і прохідний одновитковий - ТПОЛ-10 (в) трансформатори струму: 1 - осердя; 2 - первинна обмотка; 3 - вторинна обмотка; 4 - фарфорова підстава (або литий корпус)

Їх випускаються на 10 кВ і на струм до 400 А з однією або двома вторинними котушками, що розраховані на різні класи точності. Для живлення схеми релейного захисту від замикання на землю окремих жил кабелю застосовують трансформатори струму нульової послідовності для внутрішньої установки типів ТЗ, ТЗЛ і ТЗРЛ.

*Трансформатори струму вибирають за наступними параметрами:* номінальний напругі первинного ланцюга  $U_{1н}$ ; номінальному первинному струму  $I_{1н}$ , класу точності; номінальної вторинної потужності. Вибрані трансформатори струму перевіряють на динамічну й термічну стійкість.

Номінальний первинний струм трансформатора вибирають за номінальним струмом установки з урахуванням того, що перевантаження трансформатора не має бути більше 10%. Отже, при виборі трансформатора струму слід аналізувати навантаження при можливих форсованих режимах роботи мережі.

Номінальний вторинний струм трансформатора вибирають залежно від типу приладів, які приєднують до вторинного ланцюга. На тягових підстанціях трансформатори струму звичайно застосовують з вторинним струмом 5 А.

Клас точності трансформаторів струму вибирають відповідно до призначення. При цьому кожна з обмоток двохобмоточного трансформатора струму може бути використана в своєму класі точності.

Номінальна потужність вторинної обмотки трансформатора струму не повинна виходити за межі потужності, що гарантує завод для даного класу точності і розраховують в загальному вигляді за формулою:

$$S_{2расч} = I_{2н}^2 \cdot Z_{2расч}, \quad (2.11)$$

де  $I_{2н}$  - номінальний вторинний струм трансформатора струму;

$Z_{2расч}$  - опір, що включений в ланцюг вторинної обмотки.

Опір  $Z_{2расч}$  дорівнює сумі опорів приладів  $Z_{приб}$ , сполучних проводів  $r_{пр}$  і контактів  $r_{к}$ . З метою спрощення розрахунку геометричне

складання опорів замінюють арифметичним, що приводить до деякого розрахункового запасу:

$$Z_{2pac} = Z_{npib} + r_{np} + r_k. \quad (2.12)$$

Опір приладів визначають за даними, що приведені в довідниках; опір контактів приймають таким, що дорівнює 0,05—0,10 Ом; опір сполучних проводів

$$r_{np} = \eta \cdot l / q \cdot k_{cx}, \quad (2.13)$$

де  $\rho$  - питомий опір проводів, Ом·м;  
 $q$  - площа перетину проводів, мм<sup>2</sup>;  
 $l$  - довжина одного проводу від трансформатора струму до приладу, м;  
 $k_{cx}$  - коефіцієнт схеми [1].

Визначаючи розрахунковий опір в релейному захисті, необхідно враховувати схему з'єднань в ланцюзі вторинних обмоток трансформаторів струму і види к.з.

Динамічна стійкість трансформатора струму характерна кратністю динамічної стійкості:

$$K_d = i_y / \sqrt{2} \cdot I_{I.n.}, \quad (2.14)$$

тобто відношенням ударного струму  $i_y$  до амплітуди номінального струму первинної обмотки трансформатора струму.

Термічну стійкість трансформаторів струму подать у вигляді кратності термічної стійкості:

$$K_m = I_{t=1c} / I_{I.n.}, \quad (2.15)$$

де  $I_{t=1c}$  - односекундний струм термічної стійкості, тобто струм, який трансформатор струму витримує протягом 1с.

Виходячи з вимог термічної стійкості необхідно, щоб дотримувалася умова

$$I_{t=1c}^2 \cdot I \geq I_{\infty}^2 \cdot t_{np}. \quad (2.16)$$



Використовуючи формулу (2.16), одержимо

$$(K_m \cdot I_{IH})^2 \geq I_\infty^2 \cdot t_{np}, \quad (2.17)$$

і остаточно запишемо

$$K_m = I_\infty \cdot \sqrt{t_{np}} / I_{IH}. \quad (2.18)$$

Догляд за трансформаторами струму в експлуатації полягає в тому, що періодично виконують їх чищення, зовнішній огляд і перевірку ізоляції. Особливу увагу звертають на полягання ізоляторів, надійність контактних з'єднань первинної і вторинної обмоток, надійність заземлення корпусу і вторинних обмоток.

Опір ізоляції вторинних обмоток, спільно з ізоляцією приєднаних до них ланцюгів приладів, по відношенню до землі має бути не менше 1 МОм.

*Трансформатори напруги*, як і трансформатори струму, в установках високої напруги служать для живлення вимірювальних приладів, лічильників електричної енергії, реле захисту і т.п. За своїм пристроєм трансформатори напруги подібні силовим трансформаторам, проте для зниження погрішності при вимірюванні, режим роботи трансформаторів напруги при номінальному навантаженні наближається до режиму холостого ходу.

Трансформатори напруги можна класифікувати по роду установки для внутрішніх і відкритих установок; за способом охолодження - з повітряним і масляним охолодженням; по числу фаз - одно і трифазні.

З боку високої напруги приєднання трансформаторів до шин може бути виконано через запобіжники, або через запобіжники і роз'єднувачі. Найбільш поширеним типом трансформатора напруги при внутрішній установці є трифазний масляний трансформатор з компенсованими обмотками НТМК-10 (рис.2.12) и НТМИ-10 (має стабільніший коефіцієнт трансформації). Однофазні трансформатори напруги НОМ-10 (рис.2.11) застосовують звичайно по два, при цьому з'єднують їх у відкритий трикутник.

З боку високої напруги приєднання трансформаторів напруги до шин може бути або тільки через високовольтні запобіжники, або через запобіжники і розмикачі. З боку низької напруги трансформатори захищають запобіжниками. Проте лічильники обліку електроенергії приєднують до запобіжників.

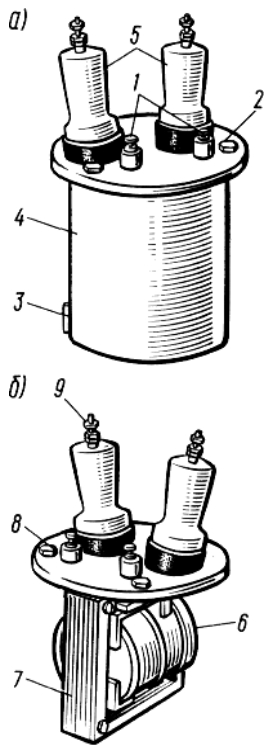


Рис.2.11  
Трансформатор напруги НОМ-10,0,5; (а) - загальний вигляд; (б) - з'ємна частина; 1,5- прохідні ізолятори; 2 - болт для заземлення; 3 - зливна пробка; 4 - бак; 6 - обмотки; 7 - осердя; 8 - гвинтова пробка; 9 - контакт вводу високої напруги

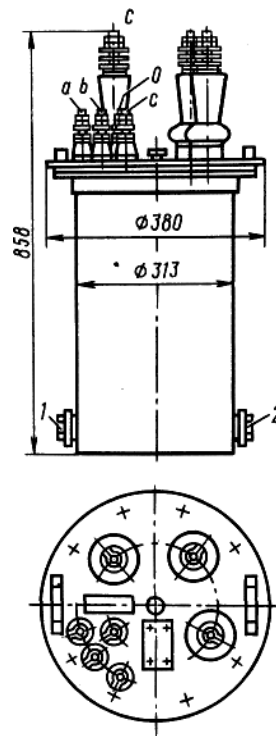


Рис.2.12-  
Трансформатор напруги НТМК-10: 1 - пробка для спуску масла; 2 - болт для заземлення;

Для захисту обслуговуючого персоналу і приладів від високої напруги у разі пробоя між обмотками високої і низької напруги останні заземляють.

Номінальний коефіцієнт трансформації трансформатора напруги указують на заводському щитку і дорівнює:

$$K_v = U_{1n} / U_{2n} \sim w_1 / w_2 \quad (2.19)$$

Первинна напруга трансформатора, яку приєднують до міжфазної напруги, відповідає шкалі номінальних напруг. Вторинна міжфазна напруга трансформатора напруги завжди дорівнює 100В. Якщо однофазного

трансформатора з боку первинної обмотки з'єднують в «зірку», то номінальна напруга їх обмоток буде , відповідно, дорівнювати:

$$U_1 = U_n / \sqrt{3} \quad \text{и} \quad U_2 = 100 / \sqrt{3} . \quad (2.20)$$

Погрішність трансформатора напруги у її вимірюванні виражається

$$\Delta u = (U_{2\kappa_v} - U_1) / U_1 \quad (2.21)$$

Трансформатори напруги мають чотири класи погрішності: 0,2; 0,5; 1 і 3. На погрішність трансформаторів напруги істотно впливає навантаження. Наприклад, однофазний трансформатор НОМ-10 з коефіцієнтом трансформації 10000/100 при номінальній потужності 80 ВА працює в класі точності 0,5, при потужності 150 ВА — в класі 1, а при 400 ВА — в класі 3.

Гранична потужність за допустимого нагріву обмоток цього трансформатора 540 ВА.

Конструкція трансформаторів напруги відрізняється від силових трансформаторів тим, що внаслідок невеликого їх навантаження вони не потребують спеціальних видів охолодження. Найбільш поширеним типом трансформатора напруги для тягових підстанцій є трифазний масляний трансформатор НТМК-10 (рис. 2.12).

Однофазні трансформатори напруги НОМ-10 (2.11) застосовують звичайно по два, при цьому з'єднують їх у відкритий трикутник .

Трансформатор напруги вибирають залежно від схеми з'єднання, номінальної напруги первинної обмотки, класу точності. Клас точності трансформаторів напруги вибирають залежно від призначення і типу приладів, що підключаються. Оскільки один трансформатор живить декілька приладів, то клас точності трансформатора визначають по приладу, що вимагає найвищого класу точності. Звичайно такими приладами є лічильники розрахунку за електроенергію. Вимірювальні прилади можна живити від трансформаторів класу 1.

Для двох однофазних трансформаторів або для одного трифазного (рис. 10.23) потужність в ланцюзі кожної фази вторинних обмоток

$$S_2 = \sum S_{\text{приб}}, \quad (2.22)$$

де  $\sum S_{\text{приб}}$  - сума потужності усіх приладів.

Перевірку ізоляції вторинних ланцюгів трансформатора напруги проводять так само, як і трансформатора струму.

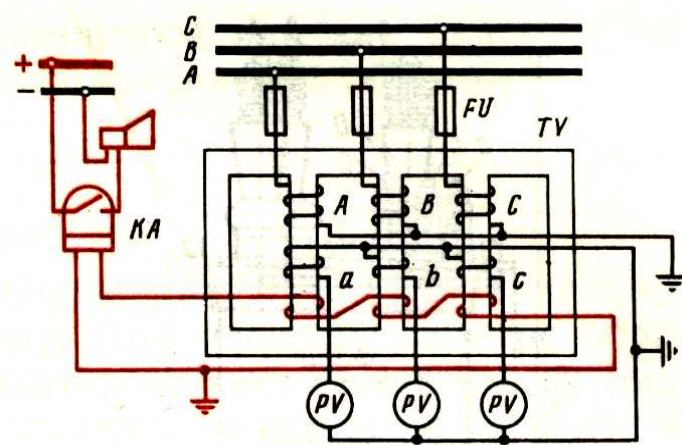


Рис.2.13 - Трифазний п'ятистрижневий трансформатор напруги НТМИ-10

Під час капітального ремонту вимірюють струм трансформатора при подачі напруги 100 В на його вторинну обмотку. При збільшенні струму холостого ходу по відношенню до раніше заміряного, трансформатор напруги слід розкрити і здійснити його внутрішній огляд.

Стан ізоляції обмоток високої напруги оцінюються по відношенню опору ізоляції при 15 °С ( $R_{15}$ ) до опору ізоляції при 60 °С ( $R_{60}$ ). При цьому повинна виконуватися умова  $R_{15} / R_{60} > 1,2$ .

## 2.7. Розподільчий пристрій (+600 В) в ТП

Розподільчі пристрої (РУ + 600В) (рис.2.14) постійного струму призначені для прийому електричної енергії, яка поступає від перетворюючих агрегатів і розподілу її по лініях, що відходять від підстанції і живлять окремі ділянки контактної мережі.

Загальний вигляд «РУ+600В», що випускає закрите акціонерне товариство «Pluton» м. Запоріжжя, зображений на рис.2.14.

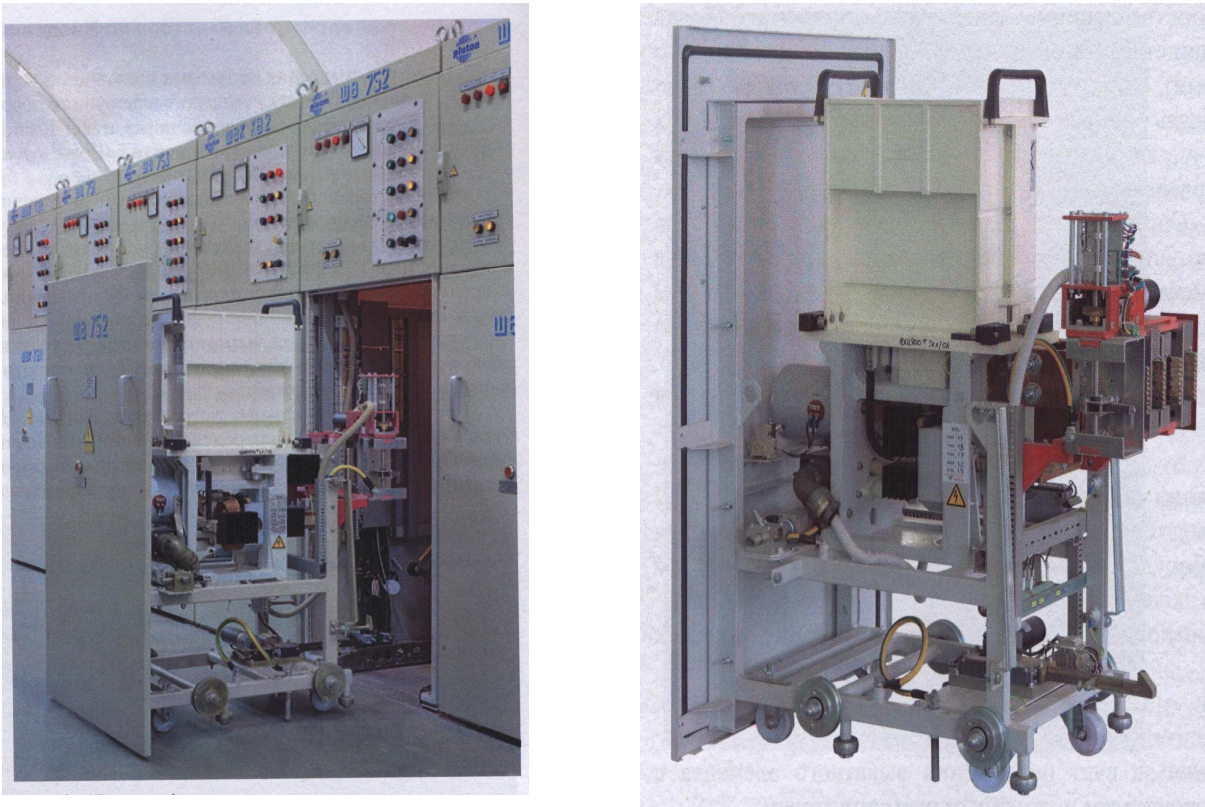


Рис.2.14 - Загальний вигляд «РУ+600 В» і секція «РУ+600 В» із швидкодіючим вимикачем UR26-81 на вкатному візку

Основним устаткуванням РУ є вимикачі постійного струму, які встановлюють на всіх приєднаннях позитивних живильних ліній і перетворюючих агрегатів, розмикачі і перемикачі з приводами, а також позитивні й негативні збірні шини.

Сучасні розподільні пристрої нового покоління серії «РУ-600В» (рис. 2.14) призначені для роботи на тягових підстанціях в системі енергопостачання тягової мережі міського електричного транспорту.

Основні особливості:

- високий ступінь надійності;
- ступінь захисту (відповідно до ГОСТ 14254-96): 1Р54 - відсік керування, 1Р43- решта відсіків (окрім днища);
- низька потреба в періодичному обслуговуванні і періодичних ремонтах;
- невеликі габаритні розміри, маса, матеріаломісткість і, як слідство -

економія простору приміщень підстанцій;

- забезпечена зручність оглядів і обслуговування за рахунок застосування елемента, викочування з вимикачем і лінійним розмикачем;

- наявність можливості моніторингу і самодіагностики устаткування, в результаті - зниження часу на обслуговування, пошук несправності, ремонтно-відновлювальні роботи;

- вбудована система моніторингу тягової мережі з набором електронного захисту тягової мережі;

- висока безпека експлуатації.

Розподільні пристрої серії РУ-600В задовольняють вимогам ПУЕ, ПТЕ, ПБЕ ЕП, ППБ, СНіП, а також технічним умовам.

Концептуальні рішення, які вжиті в серії РУ-600В виробництва ЗАТ «Плутон», засновані на мінімізації участі людини в процесах перемикання, зборку і розбирання схеми на підстанції. Ми виходимо з того положення, що чим менше чоловік втручається в процес перемикань, процес обмірковування блокувань, чим менше прикладає механічних зусиль до комутуючих апаратів в процесі перемикання - тим надійніше працює електроустановка і тим менше вірогідність поразки персоналу електричним струмом. Дану концепцію реалізують за допомогою застосування малогабаритних, малопотужних сервоприводів для керування розмикачами, для викочування і загортання візка з вимикачем, а також за допомогою застосування електромагнітних блокувань, виконавчих механізмів, керованих промисловими контролерами.

Силова частина розподільчих пристроїв виконана із застосуванням технології не обслуговуючих контактних з'єднань. Використані спеціальні компенсуючі пристрої виробництва ФРН, які стабілізують притиск на контактних з'єднаннях, незалежно від температури і теплових добових і сезонних коливань. Завдяки цьому під час експлуатації розподільчих пристроїв серії РУ-600В немає необхідності в контролі, періодичній підтяжці, зачистці контактних з'єднань. Температурна стабілізація контактного з'єднання підвищує пожежобезпечність розподільчих пристроїв і підстанції в цілому.

Секції серії РУ-600В складають з трьох основних відсіків: відсік з швидкодіючим вимикачем, відсік силових шин і кабелів, відсік автоматики і управління. Силові і низьковольтні ланцюги розділені, що забезпечує безпеку обслуговування і експлуатації, а також робить неможливим проникнення плазми з відсіку у відсік, із силових відсіків у відсік системи управління.

У відсіку швидкодіючого вимикача знаходиться візок, на котру встановлений швидкодіючий вимикач, лінійний двополюсний розмикач, сервопривід елементу викочування, виконавчі механізми електромагнітних блокувань та інші.

Елемент викочування має три положення: робоче, контрольне і ремонтне. З робочого положення в контрольне, а також назад з контрольного в робоче, візок переміщується автоматично за допомогою електричного сервопривода. При цьому людина не прикладає ніяких зусиль при загортанні і викочуванні візка. У контрольне положення і назад в робоче візок переміщається тільки після того, як керуючий контролер дасть дозвіл на викочування візка, перевіривши всі блокування, які беруть участь в системі безпеки на підстанції (а не тільки в даній конкретній секції).

Описаний алгоритм означає, що людина тільки дає команду зібрати або розібрати схему натисненням на ту або іншу кнопку панелі керування. Все інше робить електроніка і механіка: перевіряє можливість здійснення поданої команди з міркування безпеки, за допомогою електричних сервоприводів керує розмикачами, швидкодіючим вимикачем, візком, механічними блокуваннями. У разі неможливості виконання тієї або іншої команди система повідомляє про невиконання команди і про причину цього невиконання.

Стан комутуючих апаратів розподільчого пристрою зображується в кожен момент часу на панелі візуалізації і керування розподільчими пристроями серії РУ, відсік автоматики і керування.

Збірні шини звичайно виконують з плоских алюмінієвих смуг, що збираються в пакети. Вибір перетину шин проводиться лише за умови їх нагріву в робочому режимі, оскільки термічна і динамічна дія струму к.з. через

використовуванні перетини шин не викликає в них небезпечних нагрівів і деформацій.

## **2.8. Швидкодіючі автоматичні вимикачі РУ (+600 В).**

На діючих ТП використовують швидкодіючі вимикачі типу ВАБ-2, АБ-2/4, ВАБ-28, ВАБ-20, ВАБ-36. В сьогодні широко застосовують вимикачі ВАБ-43 і ВАТ-43, конструкція яких є найбільш досконалою. Вимикач ВАБ-43 (рис. 2.15) призначений для захисту перетворювачів від струмів зворотного напрямку, а вимикач ВАТ-43 – для захисту живильних ліній від струмів к.з. і перевантаження. Особливістю цих вимикачів в порівнянні з попередніми є заміна утримуючої котушки постійним магнітом. В результаті вимикач не вимагає постійного живлення оперативним струмом і не відбувається його довільного відключення за короткочасного зникнення або посадки напруги на шинах при коротких замиканнях.

Лінійні вимикачі ВАТ-43-2000/10-Л (рис. 2.15) (на відміну від катодних) мають шунти: індуктивний і магнітний. Магнітний шунт призначений для плавного регулювання струму вставки. Магнітний потік, створений постійним магнітом, ділять на дві частини: одна частина втягує по основному магнітному ланцюгу через якір, інша - через шунт. При зміні положення магнітного шунта змінюється струм вставки. Індуктивний шунт забезпечує отримання потрібного діапазону струму вставки.

Розглянемо конструкцію і принцип дії катодного вимикача ВАБ-43 (рис. 2.15). Електромагнітна система вимикача складається з котушки 1 П-подібного сердечника 2, якорі 7, постійного магніту 5 з котушкою 4, що розрахована для підмагнічування постійного магніту. У вікно П-подібного сердечника пропущена шина головного електричного струму 3 з двома розмагнічуючими витками. На електромагніті закріплений механізм вільного розчеплення, який складається з магнітопровідної скоби 31, сердечника 32, клямки 24 з пружиною 25, важеля 23 та якоря вільного розчеплення 30.



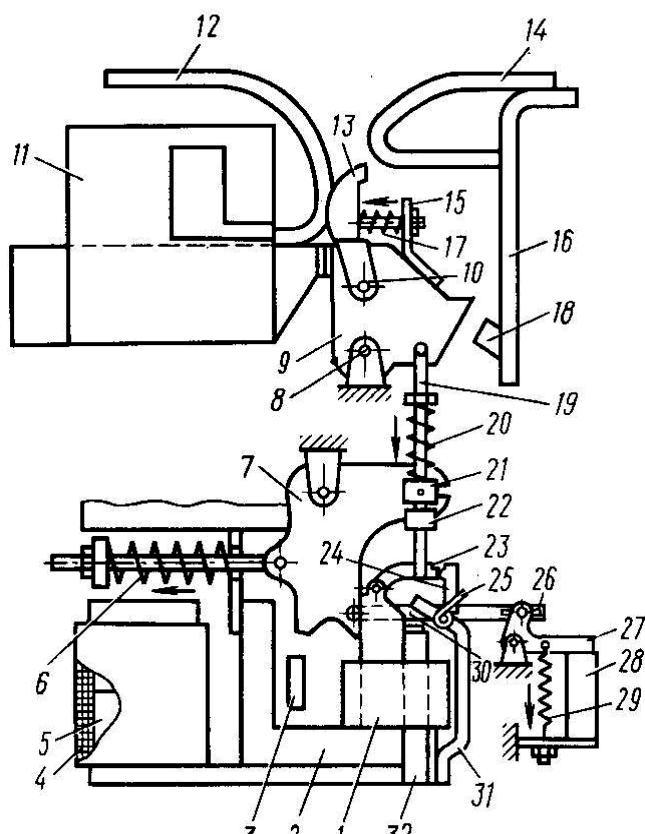


Рис. 2.15 - Кінематична система вимикача ВАБ-43

До скоби 31 прикріплений блок сигналізації, котрий складається з контактів 28, важеля 27 та пружини 29.

Контактна система вимикача має нерухомий контакт 11, що є також котушкою магнітного дуття і пересувний контакт 9, що обертається на осі 8. До нерухомого контакту кріплять дугогасильний ріг 12. До спеціальної скоби 16 кріплять другий дугогасильний ріг 14 і підпора 18 рухомого контакту 9.

Пересувний контакт з'єднаний гнучким зв'язком (на кінематичній схемі не зображений) з шиною головного струму 3.

Пересувний контакт 9 зв'язаний з якорем електромагнітної системи тягою 19, що проходить через отвір в якорі 21 і підпору 22. Тяга 19 з пружиною 20 поєднана з важелем 23.

Головні контакти вимикача з срібними накладками захищені від обгорання дугогасильним контактом 13, який обертається на осі 10. Пружина 17, що закріплена на кронштейні 15, забезпечує необхідне натиснення між дугогасильними контактами.

Для включення вимикача подають напругу на котушку 1. Ця котушка створює магнітний потік  $\Phi_3$  (рис. 2.16,б), спрямований в той же бік, що і потік постійного магніту  $\Phi_1$  в правому полюсі сердечника 4. У лівому полюсі потоки  $\Phi_1$  і  $\Phi_3$  спрямовані назустріч один одному, і цей полюс розмагнічується.

У результаті якор 3 притягується до правого полюса 4. Проте контакти вимикача замкнутися не можуть, оскільки тяга 19 (рис. 2.15) за допомогою

клямки 24 і важеля 23 зупиняється, коли між контактами вимикача є деякий зазор.

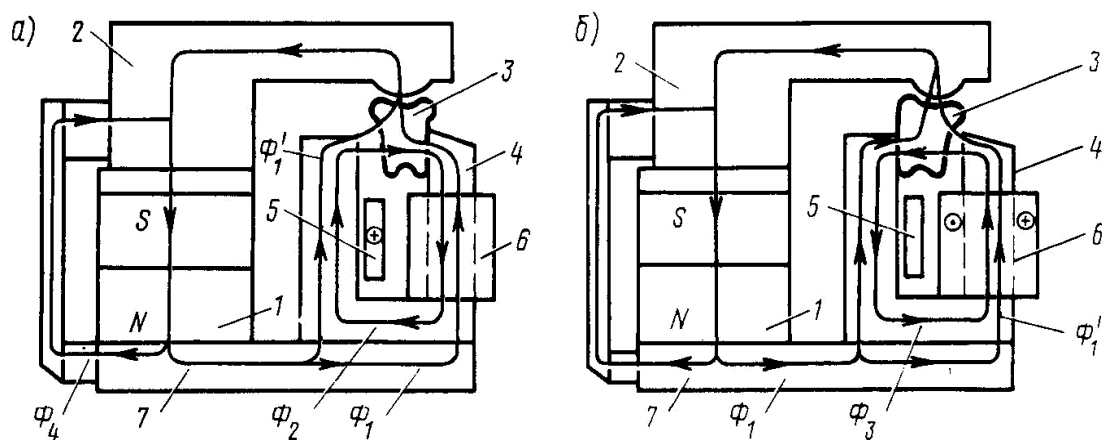


Рис. 2.16 - Напрямок магнітних потоків у вимикачі ВАБ-43:

*a* — при появі струму зворотнього напрямку; *б* — у момент включення; 1 — постійний магніт; 2 — верхній брус; 3 — якір; 4 — сердечник; 5 — шина головного струму; 6 — включна і відключна котушки; 7 — нижній брус;  $\Phi_1$  - магнітний потік постійного магніту;  $\Phi_2$  — магнітний потік головного струму;  $\Phi_3$  — магнітний потік включаючої котушки;  $\Phi_4$  — магнітний потік, що проходить через магнітний шунт.

Справа у тому, що одночасно з притягуванням якоря 7 до сердечника 32 притягується якір 30 і заводе пружину 25. Коли котушка 1 знеструмлена, якір 7 залишається в притягнутому стані, утримується магнітним потоком постійного магніту. Якір же 30 під дією пружини 25 повертається в початкове положення, ударяє по клямці 24 та збиває її. Тяга 19 звільняється і під дією пружини контакти вимикача замикаються. Отже, контакти вимикача замикаються тільки після того, як знеструмиться котушка управління 1 і вимикач буде готовим до негайного відключення можливого пошкодження.

У вимикачі ВАБ – 43, який призначений для захисту від струму зворотнього напрямку, при протіканні струму через виток 5 (рис. 2.16,а) в прямому напрямку в осерді 4 створюється магнітний потік, який в лівому полюсі співпадає за напрямком з магнітним потоком  $\Phi_1$  постійного магніту.

При появі в захисному ланцюзі струму зворотного напрямку в осерді з'являється магнітний потік  $\Phi_2$ , спрямований назустріч потоку  $\Phi_1$ . Як результат, сила, що утримує якір у ввімкненому стані, зменшується. У лівому ж полюсі

потоки  $\Phi_1$  і  $\Phi_2$  складають. Цей полюс намагнічують і створюють силу, яка намагається перевести якір у вимкнений стан.

Слід підкреслити, що швидкодійство забезпечують не пружиною, а різницею магнітних потоків в лівому і правому полюсах осердя 4 через те, що стримуючий потік  $\Phi_1$  не ліквідується, а тільки витісняється в паралельну ділянку магнітного ланцюга (до лівого полюса осердя 4).

Якір 7 (рис.2.15) ударяє по упору 22 тягу 19. При цьому спочатку розмикаються головні контакти вимикача, а потім - дугогасильні. Після переходу якоря 7 у відключений стан, рухливий контакт 9 продовжує ще деякий час рухатися за інерцією, стискає пружину 20 і зупиняється упором. Тяга 26 повертає важіль 27 і контактні місточки блок – контактів 28 перевертаються у відключений стан.

Оскільки розмикачами включати і вимикати лінію не можна, навантаження з шин знижується відключенням вмикачів агрегатів. Перехід з однієї живильної лінії на іншу здійснюється на підстанції енергосистеми після відповідного узгодження телефоном з диспетчером.

Нині широко впроваджується нове покоління швидкодійючих вимикачів, так наприклад, швидкодійючий вимикач UR26-81(рис. 2.17) виробництва компанії Secheron (Швейцарія) - найсучасніший і ефективніший швидкодійючий комутуючий захисний апарат, призначений для роботи в ланцюгах постійного струму. Апарат має підвищений ресурс механічного зносу, високу вимикаючу здатність. Завдяки унікальній системі дугогасіння, апарат має мінімальні відстані наближення до заземлених частин та ізоляційних екранів. Експлуатаційна характеристика вимикача UR26-81 значно перевершує характеристики вимикачів типу ВАТ-43, ВАБ-43.

Застосування швидкодійючих вимикачів UR26-81 дозволяє побудувати секцію з мінімальними габаритними розмірами: ширина 800мм, глибина - 1200 мм, висота 2000 мм. Це істотне (більше ніж у 2,5 рази) зниження габаритних розмірів у порівнянні з існуючими на сьогодні розподільними пристроями попередніх поколінь.

Мінімізація габаритних розмірів устаткування створює передумови для економії корисної площі на тягових підстанціях і, як наслідок, економії грошових коштів на капітальне будівництво.

Унаслідок високої механічної і електричної надійності застосування вимикача UR26-81 веде до зниження затрат на його обслуговування.

Компанія Secheron випускає вимикачі UR26-81 на номінальні струми 2600А, 3600А, 4000А. Вимикач випускають в двох виконаннях за способом утримання головного контакту: з електричним і магнітним. Головний силовий контакт виконаний з твердого суцільнометалевого сплаву срібла. Контакт не підлягає механічному обслуговуванню (зачистці) після аварійних відключень і відключень за перевантаженням. Єдиним способом обслуговування головного контакту є періодичні огляди і промивка контактної поверхні дрантям, змоченим у розчиннику. Періодичність оглядів – 250 відключень з перевантаження. Механічний знос - 8х25000 циклів включень-відключень. Система дугогасіння сприяє обмеженню наростання струму короткого замикання, а також обмежує рівень перенапруження, що виникає при відключенні швидкодіючого вимикача.

Біля вимикача UR26-81 немає дугогасильних контактів, присутні тільки головні контакти. Таке технічне рішення збільшує надійність вимикача, оскільки при відключеннях особливо важких коротких замикань дугогасильні контакти схильні до вигорання і підлягають заміні. Крім того, відсутність дугогасильних контактів сприяє скороченню часу відключення.

Вставку вимикача регулюють плавно. Одного разу відкалібрований на підприємстві - виробнику вимикач не вимагає вхідного контролю у замовника, контролю і періодичного калібрування в процесі експлуатації. При необхідності зміни вставки вимикача необхідно за допомогою спеціального гвинта встановити значення розподілів на шкалі вставок, відповідне струму вставки. На цьому операція зміни вставки закінчена. Точність описаної настройки вставки складає  $\pm 10\%$  завдяки тому, що характеристика зміни

вставок в широкому діапазоні лінійна. При цьому немає необхідності в калібруванні вимикача.

Швидкодіючий вимикач встановлений на візку викочування. Конструктивно вимикач блокується з лінійним розмикачем, який також встановлений на візку викочування. Таким чином, усі основні силові комутуючі елементи розташовані на візку викочування і можуть піддаватися з легкістю ремонту і огляду, коли візок знаходиться в ремонтному положенні.

Наявність елементу викочування припускає жорсткі вимоги до точності виготовлення металоконструкції, точності роботи всіх механічних вузлів і блокування. З метою забезпечення виконання жорстких технічних вимог до механічних вузлів в розподільних пристроях виробництва ЗАТ «Плутон», використовують каркасні металоконструкції фірми RITTAL (ФРН).

Використовування конструктивів RITTAL дає ще одну істотну перевагу. На високому технологічному рівні німецькі інженери виконують металоконструкції із ступенем захисту IP43 (силові відсіки розподільчих пристроїв), IP54 (відсік управління і автоматики), що робить розподільний пристрій захищеним від попадання пилу. Це (в свою чергу) приводить до зниження експлуатаційних витрат, підвищується надійність роботи розподільних пристроїв, оскільки відсутність пилу знижує вірогідність електричного перекриття по ізоляційних поверхнях у високовольтних відсіках, знижує вірогідність виникнення пожежі.

#### *Переваги швидкодіючих вимикачів постійного струму «Secheron»*

- \* Механічна простота.
- \* Автоматична настройка притиснення контакту.
- \* Тривалий термін служби: приклад - заміна контакту на вимикачі виконується через 3000 відключень струмів к.з.
- \* Ізоляційний матеріал, що самоочищається під дією дуги.
- \* Вставка на відключення регулюється плавно.

\* Всі ізоляційні матеріали відповідають жорстким Європейським екологічним вимогам.

\* Немає дугогасильного контакту, що робить час на відключення мінімальним.

\* Струм при відключенні вимикача при к.з. не встигає досягти великих значень.

\* Тривалий час не потрібні мастило, регулювання, технічне обслуговування.

\* Невелика маса вимикачів.

Швидкодійний вимикач (БВ) SSM 3 (рис.2.17 )служить для швидкого включення, перевірки і контролю за струмом живлення і витоку в розподільних пристроях постійного струму для вживання на залізниці.

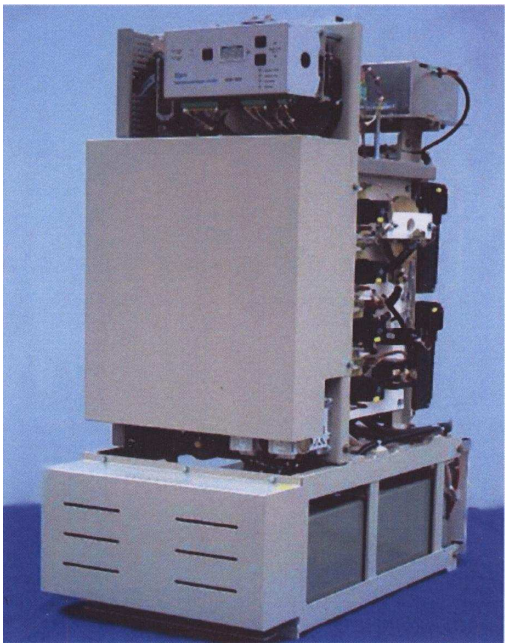


Рис. 2.17 - Швидкодійний вимикач

Як силовий вимикач постійного струму з електронним гасінням потужності передбачений для вживання в пристроях ТМ з характеристикою відключення як струмообмежувальний високошвидкісний БВ. За допомогою його цифрових компонентів захисту і управління забезпечується висока функціональність (за модульної конструкції) при одночасно високій експлуатаційній надійності.

БВ відповідає вимогам стандарту EN 50123-2, а також EN50123-3 і модель пристрою з дистанційним гальванічним вільним перемиканням відповідає вимогам стандарту EN 50123-6 .

БВ SSM 3 складається з 3-х основних компонентів:

- блока управління (обслуговування, управління);
- блока комутуючого конденсатора (джерело затухаючого струму);
- швидкісного переривника (вакуум-камера з клямкою і системами приводу)
- подвійний роз'єднувач (вкатна техніка), які розміщені на рамі.

Разом з основними компонентами, встановлені різні конструкційні елементи вимірювання струму, захисту і управління.

Додатково передбачають блок управління тиристорів КЗСТ при високому індуктивному навантаженні для захисту від перенапруження. Через блок управління на передній стороні відбувається повний контроль, керування процесом і зв'язок ШВ.

#### *Системні ознаки:*

- вакуумний силовий вимикач постійного струму за принципом електронного гасіння потужності;
- незначне динамічне навантаження пристрою під час відключення  $< 2$  мс;
- облік струму к.з. в 50 Гц за величин відключення до 12 кА;
- відключення залежно від швидкості наростання струму;
- обмеження струму к.з. на 20 кА;
- інтегрований двополярний роз'єднувач для гальванічної розв'язки пристрою;
- висока готовність і незначні витрати життєвого циклу через безперебійні відключення;
- незначний об'єм монтажу через відсутність продувального приміщення (немає відкритої комутаційної дуги);
- перевірка відстаней через вбудований зразковий резистор з послідовною видачею випробувального струму;
- послідовний інтерфейс для зміни параметрів і індикацій полягань;
- величини відключення струму в цифровому вигляді покроково в 100 А регульовані на місці або через телекерування;
- самодіагностика, повторна перевірка внутрішніх і зовнішніх функцій для обертання процесів відключення;
- послідовний відновлюваний накопичувач зміряних значень і подій.

## 2.9. Розмикачі РУ (+600 В). АПВ.

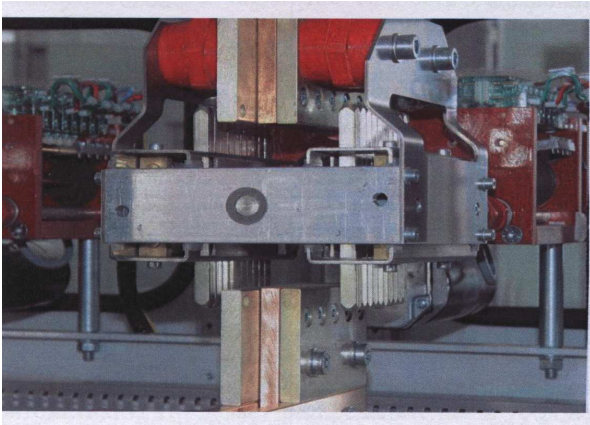
Розмикачі РУ постійного струму застосовують однополюсні і вибирають лише за тривало допустимим навантаженням. Різновидом розмикачів в тих РУ, які розглядають перемикачі, за допомогою яких здійснюють перемикання позитивної живильної лінії з головною збірною шини через лінійний вимикач на запасну шину через запасний вимикач.

В останніх модифікаціях ЕП (рис. 2.18) встановлюють розмикачі серії EST/EDT, які служать для розмикання електричних частин пристроїв і спеціально призначені для застосування в розподільчих пристроях постійного струму. Конструктивно вони відрізняються однополюсною установкою в системі шин (EST) і ,відповідно , двополюсною установкою у фіксованій частині секцій камери розподільчих пристроїв як зв'язок між системою збірних шин і візком (EDT). Шинні розмикачі виготовляють на струм навантаження 1000А, 2500А і 4000А. Розмикачі, які пройшли типові випробування і відповідають стандарту EN 50123-3 , можуть застосовуватися в секціях РУ.

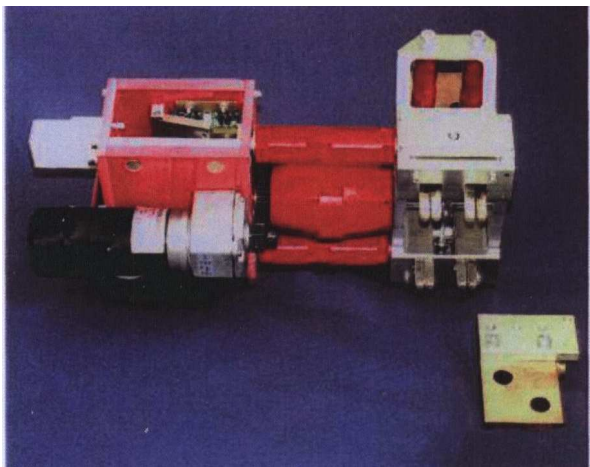
Основною характеристикою даного розмикача є окремі підпружинні контактні пальці, які з обох боків переміщаються до контактної шини (контактний елемент, збірна шина) і після притиску до контактної шини в русі очищення здійснюють чищення контактів. Унаслідок окремого розташування контактних пальців допускається кутовий зсув і зсув по висоті. Оскільки для окремих пальців потрібне відносно незначне зусилля стиснення, приводна потужність електродвигуна незначна (близько 18 Вт). Це дозволяє працювати з низькою напругою приводу - до 24В.

Конструктивне рішення забезпечує вище гранично допустиме навантаження і перевантаження розмикача. Всі розмикачі розраховані на можливість перевантаження з класом навантаження VI (IEC146-1; 1991-03). Серія EST безпосередньо встановлюється в систему збірних шин без опори і, відповідно, контакту з корпусом.

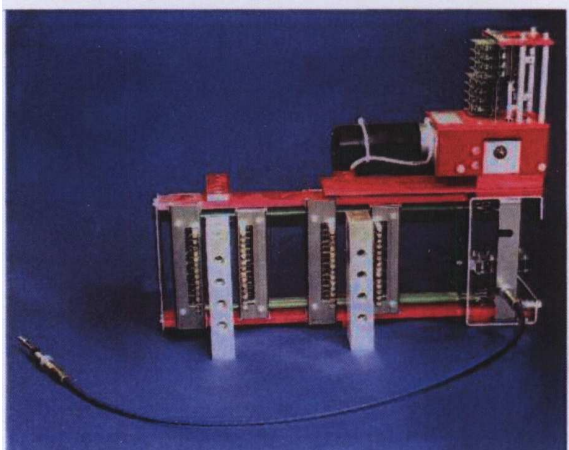




а) Рис 2.18 - Розмикачі типу EST і EDT  
розмикач типу EST загальний вид



б) Рис 2.18 – Розмикачі типу EST і EDT  
розмикач типу EST 1000A; 1000B  
постійного струму



в) Рис. 2.18 - Розмикачі типу EST і EDT  
розмикач типу EDT 4000A; 1000B постійного  
струму

За допомогою такого пристрою розмикача можливе забезпечення компактного розміру секції РУ. Серія EDT - це двополюсний розмикач. Він спеціально розроблений як виїзний розмикач для візка розподільчого пристрою. Перемикання розмикачів і перемикачів в РУ постійного струму проводять за допомогою дистанційно керованих приводів. На підстанціях трамвая і тролейбуса найбільшого поширення набули магнітофугальні приводи, що засновані на принципі дії лінійного двигуна.

Схемами керування лінійними швидкодіючими вимикачами передбачається автоматичне повторне включення (АПВ) вимикача після його відключення від надструмів, тобто струмів к.з. або струму перевантаження. При відключенні від перевантаження АПВ лінійного швидкодіючого вимикача слід здійснювати лише після усунення на лінії виниклої несправності.

Розпізнавання стану лінії проводить спеціальний пристрій-випробувач короткого замикання. За наявності короткого замикання в лінії цей пристрій дає заборону на роботу АПВ.

## **2.10. Перетворювальний пристрій ТП**

На тягових підстанціях встановлюють напівпровідникові кремнієві випрямлячі, що становлять разом з силовим трансформатором перетворювальний агрегат. Промисловість випускає випрямлячі БВКЛЕ-1000/600Н і ВАКЛЕ-2000/600Н. Останній складається з двох випрямлячів БВКЛЕ-1000/600Н. Для вказаних випрямлячів застосовуються силові перетворювальні трансформатори ТМПУ-1000 і ТМПУ-2000.

Випрямляч БВКЛЕ-1000/600Н випускають на номінальну випрямлену напругу 600 В при номінальному випрямленому струмі 1000 А. Він комплектується з трансформатором ТМПУ-1000 номінальною потужністю 685кВА. Випрямляч ВАКЛЕ-2000/600Н при тій напрузі має номінальний струм 2000А і комплектується з трансформатором ТМПУ-2000 потужністю 1385 кВА. Випрямлячі мають природну вентиляцію. Випрямний блок на 1000А складається з шести вентиляльних плечей. Кожне вентиляльне плече має два паралельні ланцюжки лавинних вентилів ВЛ200. У могутніх випрямлячах часто застосовують змішане з'єднання вентилів у плечах.

В даний час закрите акціонерне товариство “Pluton» випускає випрямлячі серії В-ТПЕД (рис.2.19, 2.20) з сухим силовим трансформатором технології «RESIBLOC» (рис.2.21 ).

Перетворювальні секції (ПС) серії В-ТПЕД виробництва ЗАТ «ПЛУТОН» увібрали в себе найсучасніші технології, матеріали, що комплектують відомих світових виробників. ПС побудовані на силових діодах пігулок 1600...2500 А 25-го класу виробництва компанії INTERNATIONAL RECTIFIE.

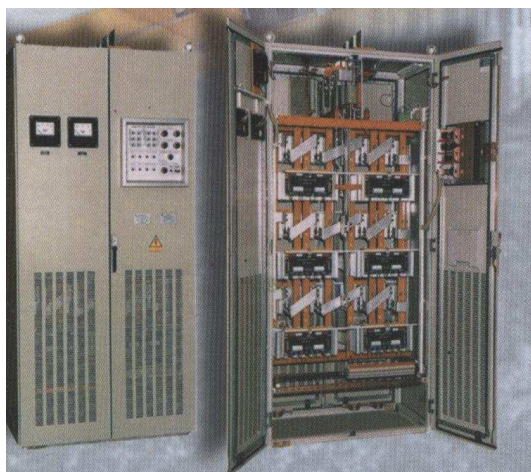


Рис.2.19 - Осередок РУ В-ТПЕД



Рис.2.20 - Випрямляч серії В-ТПЕД

Таблиця 2.1 - Технічні характеристики В-ТПЕД

Найменування параметра	В-ТПЕД 800-600 М	В-ТПЕД1,25 к-600М	В-ТПЕД2,0 к-600М	В-ТПЕД 1,6к-825М	В-ТПЕД2,5к-825М
1. Схема випрямлення	мостова				
2. Вихідна активна потужність, кВт	480	750	1100	1320	2062,5
3. Вихідна напруга, В	600			825	
4. Вихідний струм, А	800	1250	2000	1600	2500
5. Вид охолодження	штучне повітряне				
6. Коефіцієнт потужності	0,95				
7. ККД %, не менше	97,5			98	
8. Типова потужність перетворювального трансформатора	630	1000	1600	1600	2500
9. Тип перетворювального трансформатора	ТСЗП-630/10 ГТ	ТСЗП – 1000/10 ГТ	ТСЗП – 1600/10 ГТ	ТСЗП – 1600/10 МУЗ	ТСЗП – 2500/10 МУЗ
10. Габарити випрямляча, мм	1000 × 600 × 2200				
11. Маса перетворювальної секції, кг, не більше	400				800
12. Питомі маса перетворювальної секції, кг/кВт, не більше	0,833	0,533	0,333	0,303	0,388

Охолодження ПС - повітряне природне. Силова частина ПС виконана із застосуванням технології не обслуговуючих контактних з'єднань.

Використані спеціальні компенсуючі пристрої виробництва ФРН, які стабілізують притиск на контактних з'єднаннях, незалежно від температури і теплових добових і сезонних коливань. При збірці перетворювальних секцій кожне болтове контактне з'єднання обжимається за допомогою моментного ключа певним тарованим зусиллям відповідно до стандартів, і вказане зусилля зберігається впродовж усього терміну експлуатації. Завдяки цьому при експлуатації немає необхідності в контролі, періодичній підтяжці, зачистці контактних з'єднань. Стабілізація контактного з'єднання підвищує пожежобезпечність ПС і підстанції в цілому.

Розподіл струму по паралельних гілках - примусовий, здійснюється за допомогою ефективних індуктивних дільників, що забезпечують ділення струмів між паралельними гілками з погрішністю не більше 5%. Таким чином, в процесі експлуатації перетворювачів, у разі заміни силового діода - немає необхідності в підборі діодів по прямому і зворотному падінню напруги.

Рівномірність розподілу струму зберігається також в процесі експлуатації при природному погіршенні параметрів силових діодів. Це важливий критерій надійності і відсутності необхідності періодичного контролю устаткування в процесі експлуатації.

У випрямлячі реалізовано захист силових напівпровідникових приладів від внутрішніх і зовнішніх комутаційних перенапружень.

Від внутрішніх комутаційних перенапружень діоди захищені RC - ланцюжками, від зовнішніх – комбінований RC - ланцюгами і варисторами.

## **2.11. Перетворювальні трансформатори**

В якості перетворювального трансформатора ЗАТ «Плутон» поставляє сучасні сухі трансформатори, які виготовляє за технологією RESIBLOC (компанія ABB, ФРН) (рис.2.21) або за технологією NOMEX (вітчизняне виробництво), потужністю від 1000 кВА до 40000 кВА з різними поєднаннями напруги ВН і НН (до 45 кВ). Трансформатори RESIBLOC сертифіковані



Держстандартом Росії і успішно експлуатуються на тягових підстанціях міського електротранспорту і залізниці.

Трансформатор з'єднується з перетворювальною секцією шинним мостом, що поставляється в комплекті.

Трансформатори мають оригінальну конструкцію первинної і вторинної обмоток, що виконуються з мідного проводу і алюмінієвої фольги.

Бандажуються обмотки скловолоконою ниткою, просоченою епоксидним компаундом. Завдяки оригінальній конструкції обмоток і технології нанесення компаунда, трансформатори RESIBLOC здатні витримувати максимальні коливання температурного розширення без пошкодження поверхні компаунда і без утворення мікротріщин. Це єдині сухі трансформатори, які здатні працювати при температурах мінус 60 °С.



Рис.2.21 - Трансформатор технології «RESIBLOC»



Рис. 2.22 - Силовий тяговий трансформатор ТСЗПУ-2000 / 10ГГЧЗ

Трансформатори працюють в умовах 100% вологості і в умовах конденсації водяної пари, а також в умовах хімічного забруднення.

Трансформатори можуть бути оснащені радіальними вентиляторами з низьким рівнем шумів. Система охолодження дозволяє збільшити номінальну потужність трансформаторів аж до 40%.

Стійкість обмоток трансформатора до механічних навантажень складає (650 – 750) Н/мм<sup>2</sup>, що на порядок вище, ніж у найближчого конкурента - трансформаторів, що виготовлені за технологією GEAFOL. Описаний параметр особливо важливий для перетворювальних трансформаторів, що працюють в режимі частих пускових струмів (табл. 2.2). У всіх компонентах трансформаторів відсутня токсичність. Всі матеріали негорючі і не підтримують процес горіння.

Таблиця 2.2 - Трансформатор RESIBLOC

Найменування параметра	ТСЗПУ 1000/10 ГТ УЗ	ТСЗПУ 2000/10 ГТ УЗ	ТСЗП 630/10 ГТ УЗ	ТСЗП 1000/10 ГТ УЗ	ТСЗП 1600/10 ГТ УЗ	ТСЗП 1600/10 М УЗ	ТСЗП 2500/10 М УЗ
Напруга мережевої обмотки, В	6000, 6300, 10000, 10500						
Напруга вентильної обмотки, В	979		471			650	658
Номінальна потужність мережевої обмотки, кВА	692	1385	533	830	1330	1470	2315
Частота живлячої мережі, Гц	50						
Струм холостого ходу %	1,5	1,0	1,8	1,2	1,0		
Крізна напруга к.з. %	4,8	6,0			6,5		7,1
Напруга перетворювача, В	600					825	
Струм перетворювача, А	1000	2000	800	1250	2000	1600	2500

Ступінь захисту трансформаторів - 1Р00,1Р21,1Р23,1Р54 відповідає сучасним міжнародним Державним стандартам.

Трансформатор RESIBLOC допускає перевантаження до тих пір, поки найбільш гаряча точка нагріву трансформатора не досягне +155 °С.

Трансформатори можуть поставлятися з електронним блоком контролю температури. Блок забезпечений двома уставками - на 140°С - сигнал тривоги, РТС на 155°С - виключення навантаження. Можлива також третя вставка - РТС 130°С - включення примусової вентиляції.

Завдяки описаним технологічним і конструктивним особливостям, трансформатори RESIBLOC вписуються в концепцію підстанції, що не вимагає обслуговування. У цих сухих трансформаторах (на відміну від трансформаторів з епоксидним компаундом) ізоляційний матеріал типу «NOMEX», що виготовляється фірмою «Дюпон» (Швейцарія), гігроскопічний, має високі електричні й механічні характеристики (табл.2.2), є самозатухаючим, а в чужім полум'ї не виділяє токсичних газів.

Ці трансформатори відповідають нормам та потребам Міжнародної Електротехнічної Комісії.

Конструкція сухих трансформаторів має підвищену електродинамічну стійкість до дії радіальних і осьових зусиль при короткому замиканні. Схема обмоток і конструкція ізоляції забезпечує достатню міцність при діях грозових імпульсів.

Сухі трансформатори володіють високою стійкістю до дій вологи, до різких перепадів температури навколишнього середовища, можуть працювати в екстремальних умовах, мають підвищений клас нагріву (до 350 °C).

Конструкція сухих трансформаторів за рівнем перевищує Європейські стандарти і відповідає стандартам США.

На ТП електричного транспорту переважно застосовують шестифазну схему випрямлення - дві зворотні зірки із зрівняльним реактором. Вентильні обмотки цієї схеми представляють дві трифазні зірки, повернені одна до одної на 180°. Нульові точки зірок з'єднані через зрівняльний реактор (ЗР), середня точка якого є негативним полюсом ланцюга випрямленого струму (рис.1.9, 1.10). Завдяки наявності зрівняльного реактора у будь-який момент часу напруга двох суміжних плечей вентилів а1-с2, с2-в3 і т.д. зрівнюється і стає рівною напівсумі напруги цих плечей (без УР).

## 2.12. Захист перетворювальних агрегатів від перенапружень

При відключенні струмів к.з. на випрямленому струмі швидкодіючим вимикачем виникають комутаційні перенапруження. Подавлення перенапруження на випрямленому струмі може бути здійснене за допомогою конденсатора або розрядників. В якості розрядників для подавлення перенапруження застосовують лавинні вентиля, що включаються назустріч полярності випрямляча між його полюсами.

Розрядники з лавинних вентилів мають наступні переваги: вони не мають супроводжуючого струму; не створюють втрат електроенергії; швидкість дії їх дуже велика, внаслідок чого забезпечується надійний захист кремнієвих вентилів випрямляча.

Атмосферні перенапруження поступають до випрямляча через проводи контактної мережі і кабелі. Атмосферні перенапруження з негативною полярністю відносно землі викликають розрядні струми через вентиля випрямляча в прямому напрямі. Ці перенапруження для вентилів випрямляча не небезпечні. Перенапруження з позитивною полярністю відносно землі викликають струми зворотного напрямку через вентиля випрямляча. Захист від таких перенапружень може здійснюватися тими ж засобами, що і захист від комутаційних перенапружень на випрямленому струмі. В якості додаткових засобів захисту від атмосферних перенапружень встановлюють розрядники (звичайно на опорах контактної мережі). Є пристрій контролю стану кожного вентиля.

Захист від зовнішніх перенапружень – комбінований на базі RC ланцюгів і варисторів. Застосування новітніх варисторів підвищеної 30% енергоємністю істотно підвищує ресурс роботи системи захисту від перенапружень, а також підвищує надійність самих випрямлячів. Система захисту від внутрішніх комутаційних перенапружень виконана на RC – ланцюжках.



## Розділ 3. Релейний захист та автоматика

### 3.1. Релейний захист

*Загальні відомості.* Релейний захист призначений для автоматичного відключення силових електроустановок у разі їх пошкодження. Окрім того, релейний захист застосовують для сигналізації про порушення нормального режиму роботи або про пошкодження, що не представляє безпосередньої небезпеки для устаткування. Релейний захист є одним з найвідповідальніших елементів електротехнічних установок і тому повинен відповідати вимогам селективності, швидкодії, чутливості і надійності.

\* *Селективністю, або вибірковістю* захисту називають особливість її відключати лише ту ділянку, на якій відбулося пошкодження. Селективна дія захисту зводить до мінімуму простій устаткування, а при використуванні АПВ або АВР перерва в електропостачанні в більшості випадків обчислюється лише секундами.

\* *Швидкодія захисту* зменшує можливість пошкодження устаткування струмами короткого замикання. З цієї точки зору бажано мати захист миттєвої дії. Але в цьому випадку важко забезпечити селективність дії захисту на всіх ділянках, тому швидкодіючі захисти можуть застосовуватися лише для кінцевих ділянок. Час відключення короткого замикання складається з часу дії реле захисту  $t_3$  і часу дії високовольтного вимикача  $t_B$ .

Найпоширеніші вимикачі ВМП-10 мають особливий час відключення (0,1—0,15)с, а максимальне струмове — (0,03—0,05)с. Таким чином, загальний час відключення короткого замикання в агрегаті лежить у межах (0,13—0,20)с, тобто відключення відбудеться протягом (6—10) періодів змінного струму.

\* *Чутливість* захисту повинна забезпечити надійну роботу в межах усієї ділянки, що захищається, і мати надійне спрацювання при пошкодженні на сусідній ділянці, якщо захист цієї ділянки відмовив у дії. В той же час, захист не повинен відключати установку від поштовхів робочих струмів.

Чутливість захисту оцінюють коефіцієнтом чутливості  $K_{\text{ч}}$ .

$$K_{\text{ч}} = I_{\text{к}} / I_{\text{ср.з}}; \quad I_{\text{ср.з}} \geq I_{\text{р.мах}}; \quad (3.1)$$

де  $I_{\text{к}}$  – первинний струм к.з. в кінці зони, що захищається, А;  
 $I_{\text{ср.з}}$  – первинний струм спрацьовування захисту, А;  
 $I_{\text{р.мах}}$  – найбільший струм навантаження, А.

По ПУЕ коефіцієнт чутливості повинен бути не менше 1,5 для максимальних струмових і максимально напрямлених захистів.

*Надійність релейного захисту* визначається як її спрацьовуванням у всіх необхідних випадках, так і неспрацьовуванням у тих випадках, коли дія захисту не потрібна. Надійність роботи захисту залежить від якості вживаних реле, вибраної схеми, якості монтажу і відходу в експлуатації.

Основними параметрами пристроїв релейного захисту є: струм і напруга спрацьовування захисту  $I_{\text{ср.з}}$ ,  $U_{\text{ср.з}}$ ; струм і напруга спрацьовування реле  $I_{\text{ср.р}}$ ,  $U_{\text{ср.р}}$ ; коефіцієнтом схеми  $K_{\text{сх}}$  – відношення струму в обмотці реле до струму вторинної обмотки трансформатора струму; коефіцієнта повернення  $K_{\text{г}}$  – відношення струму або напруги повернення реле до струму або напруги спрацьовування; коефіцієнт надійності  $K_{\text{над}}$ ; коефіцієнт трансформації  $K_{\text{т}}$ .

Якщо захист працює ненадійний, вона може з'явитися причиною розповсюдження аварії, оскільки невчасне відключення пошкодженої ділянки спричиняє за собою відключення інших, нормально діючих установок.

Основними апаратами захисту є реле, які реагують на ті або інші зміни нормального режиму. Оскільки ознаками короткого замикання є збільшення струму, зміна напрямку передачі потужності, пониження напруги і опори ланцюга, то і реле захисту бувають: *струмове реле*, *реле напруги* і *реле потужності*, кожне з яких реагує на зміну відповідних параметрів.

За способом включення реле розділяють на первинні і вторинні. *Первинні* струмові реле включають послідовно з ланцюгом, що захищається, *Вторинні*

реле включають через вимірювальні трансформатори і набули повсюдного поширення внаслідок таких переваг.

За способом дії реле на вимикач розрізняють реле: прямої і побічної дії. В реле прямої дії рухома система реле механічно пов'язана з відключаючим пристроєм вимикача, внаслідок чого спрацьовування реле супроводжується відключенням вимикача. Це реле використовують в схемі струмового захисту. Схема цього захисту відрізняється простотою і не вимагає наявності джерела оперативного струму. Проте на тягових підстанціях вони не набули широкого поширення через велику споживану потужність при спрацьовуванні, значної погрішності і недосконалого конструктивного виконання. Більш досконалими є вторинні реле побічної дії. При цьому дія реле на вимикач здійснюється електромагнітом.

Окрім перерахованих вище різновидів реле захисту, вони розрізняються за струмочасовою характеристикою (рис. 3.1 ).

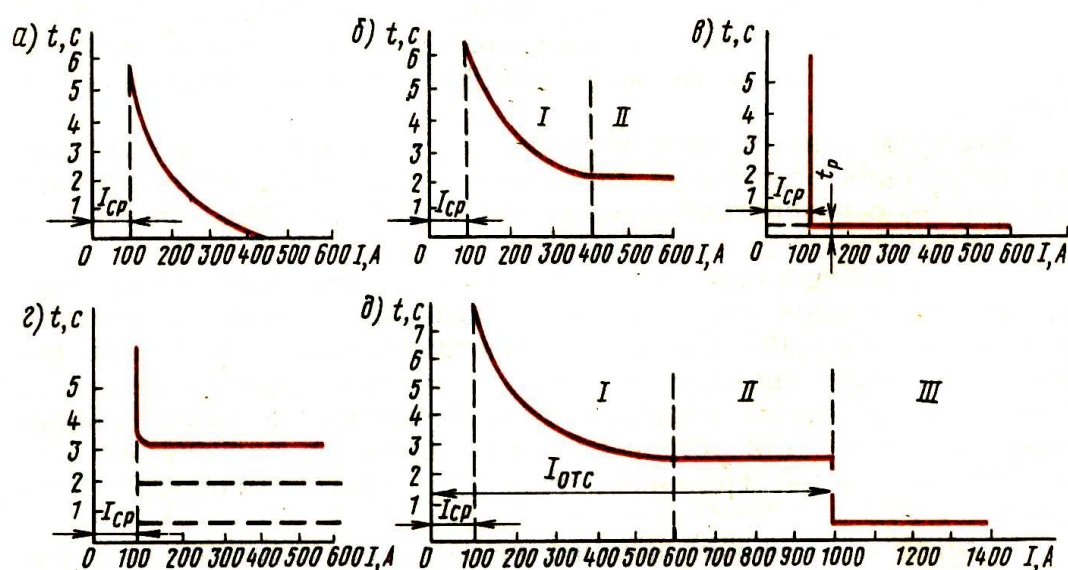


Рис.3.1 - Характеристика струмових реле: а - залежна; б - незалежна миттєвої дії в-обмежено залежна; г - незалежна з витримкою часу; д - обмежено залежна з відсіччю

*Характеристика реле* — це залежність між часом спрацьовування реле і струмом, на який реагує реле.

За цією ознакою реле класифікують таким чином:

\* залежна характеристика, коли час спрацьовування застосовують в широкому діапазоні при зміні параметра (рис. 3.1,а);

\* обмежено залежна із зоною I, в якій має місце залежна характеристика, і зоною II з незалежною частиною, коли витримка часу не залежить від контрольованого параметра (рис. 3.1, б);

\* незалежна характеристика (миттєва), коли час обмежується власним часом дії реле  $t_p$ , і незалежна з витримкою часу (рис. 3.1,в,г) . В останньому випадку додаткова витримка часу , звичайно, забезпечується вживанням спеціального реле часу;

\* характеристика з відсіченням, за якої після досягнення контрольованим параметром певного значення, витримка часу стрибком зменшується до мінімальної (рис. 3.1,д).

Нарешті, необхідно зупинитися на такому важливому показнику роботи реле захисту, як *коефіцієнт повернення*.

Коефіцієнт повернення завжди менше одиниці. Це пояснюється тим, що при спрацьовуванні якоря електромагнітного реле прагне зайняти положення, за якого магнітний опір системи стає якнайменшим. Для струмового реле це означає, що при незмінному струмі електромагнітне зусилля зростає. Якщо рух якоря направлений уздовж повітряного зазору, зростання зусилля буде значним. У результаті електромагнітні реле такого типу будуть повертатися в початкове положення, при струмах, істотно менших, ніж струм спрацьовування, тобто матимуть відносно низький коефіцієнт повернення. Тому для виконання струмових реле з високим коефіцієнтом повернення прийнята електромагнітна система з поперечним рухом якоря. Звичайно коефіцієнт повернення реле захисту знаходиться в межах (0,7—0,85).

### 3.2. Апаратура релейних захистів

Реле, яке використовують в пристроях релейного захисту, бувають: електромагнітні, індукційні, електродинамічні і магнітоелектричні.

З реле, що реагують на неелектричні параметри, найважливішими є газові реле трансформаторів і термосигналізатори.

Електромагнітні реле залежно від виду руху якоря можуть бути розбиті на три основні групи: реле з якорем, що втягується (рис.3.2,а), реле з поворотним якорем (рис.3.2, б), реле з поперечним рухом якоря (рис.3.2, в).

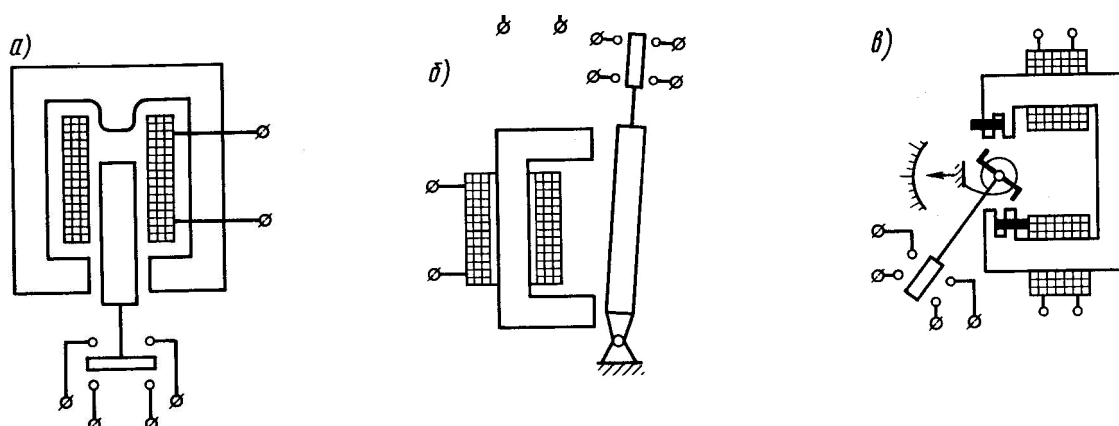


Рис.3.2 - Принципіальна схема роботи електромагнітних реле: а - з втяжним якорем; б - з поворотним якорем; в - з поперечним рухом якоря

Сила, яка діє на якір електромагнітного реле, приблизно пропорційна квадрату магнітного потоку в повітряному зазорі [ 1,10,17 ]

$$F_3 = k \cdot \Phi^2. \quad (3.2)$$

Тому в електромагнітних реле змінного струму зміна тяжіння якоря протягом періоду міняється і може приводити до вібрації якоря, яка викликає вібрацію контактів. Для усунення цього шкідливого явища на розщеплені кінці сердечників надягають короткозамкнений виток (рис.3.2, в).

Схеми вмикання електромагнітних струмових реле зображені на рис.3.3.

У мережі з ізольованою нейтраллю вторинні струмові реле включаються на два фазні струми (рис.3.3,а,б,в). Найпростішою схемою є схема на різницю фазних струмів (рис.3.3,а), але ця схема володіє різною чутливістю при двофазному к.з. у фазах  $AB$  і  $BC$  у порівнянні з двофазним к.з. у фазі  $AC$  і трифазним к.з.

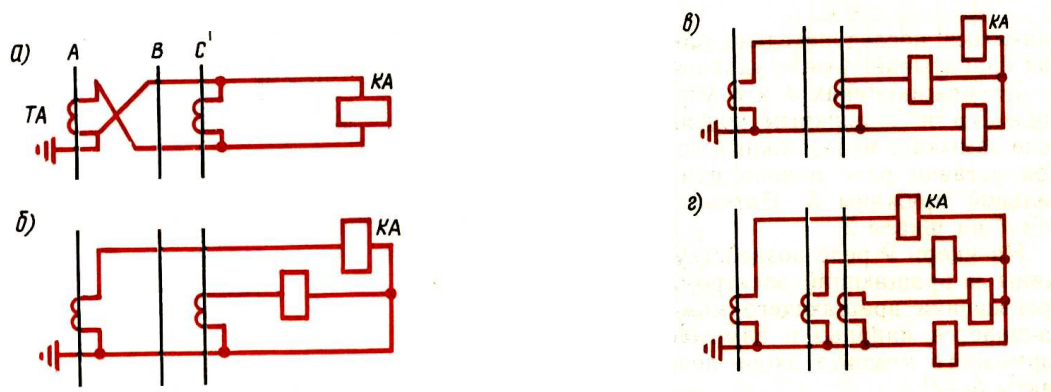


Рис.3.3 - Схеми підключення струмових реле: а,б,в – в системі з ізолюваною нейтраллю; г – в системі із заземленою нейтраллю

У схемі (рис. 3.3,в), додаткове реле реагує на суму фазних струмів і забезпечує підвищення чутливості при двофазному к.з. В мережі із заземленою нейтраллю струмові реле включаються в три фази (рис. 3.3, г), а додаткове реле в нульовому проводі забезпечує підвищену надійність.

*Електромагнітне реле РТ-40.* Реле струму миттєвої дії, що працює на електромагнітному принципі, має найбільше розповсюдження в захисті від к.з. Реле має П-образний електромагніт 10 (рис.3.4). На цьому електромагніті розташовані дві обмотки 11, кінці яких приєднані до затисків Н1-К1 і Н2-К2. Обмотки можуть з'єднуватись послідовно або паралельно. В останньому випадку струм спрацьовування реле подвоюється.

На підшипниках 4 і 8 укріплений якір 9 з ізолюваною колодкою 6 і рухомим контактом 5, який при спрацьовуванні реле замикає нерухомий контакт 7, що складається з двох пластин. Струм вставки реле плавно змінюється завдяки натягненню спіральної пружини 3. Натягнення пружини фіксується покажчиком 1 на шкалі 2. На якір 9 реле впливають два моменти: гальмівний від пружини і обертаючий електромагнітний від струму в обмотках. При перевищенні обертаючого моменту над гальмівним, якір 9 повертається направо і замикає контакти 5—7. При підвищенні гальмівного моменту якір повертається вліво і замикає контакти 5—7.

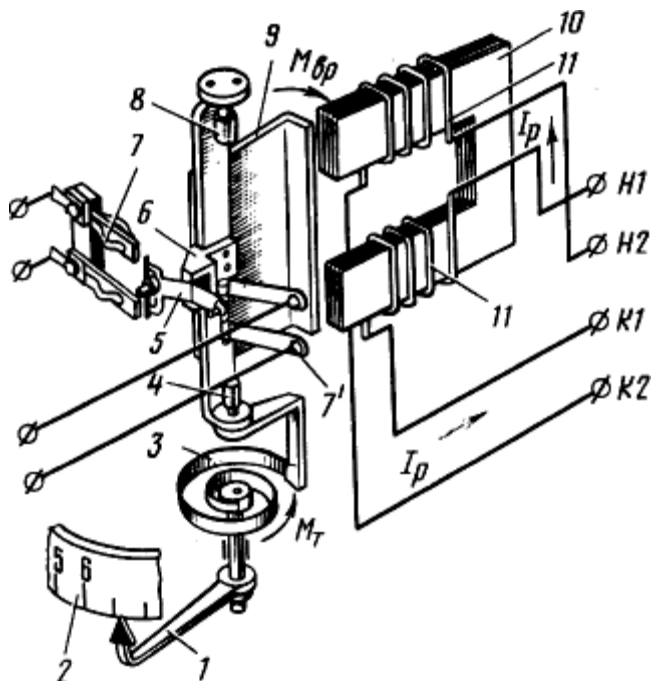


Рис.3.4 - Електромагнітне реле непрямої дії РТ-40:

1 - показчик; 2 - шкала; 3 - котушка якоря; 4 та 8 - підшипники; 5 - рухомий контакт; 6 - ізолювана колодка; 7 - нерухомий контакт; 9 - якір; 10 - сердечник електромагніту; 11- струмові обмотки

Струмове реле є високочутливим і має коефіцієнт повернення

$$K_B = (0.80 - 0.85).$$

*Індукційні реле.* Таке реле (рис. 3.5) використовують для отримання залежної струмочасової характеристики спрацьовування.

Індукційна система по аналогії з лічильниками обліку електроенергії змінного струму заснована на взаємодії магнітних потоків із струмами, що наведені цими потоками в рухомій системі.

Принцип дії індукційних реле аналогічний принципу дії індукційних вимірювальних приладів. Як рухома система, в індукційних реле служить мідний або алюмінієвий циліндр, або диск. Цей диск, повертаючись, замикає контакти. Час дії індукційних реле залежить від швидкості обертання рухомої системи і від кута повороту диска до замикання контакту. Оскільки швидкість обертання рухомої системи залежить від величини магнітного потоку, а отже, від струму в електромагнітах, то в індукційних реле легко може бути одержана залежна характеристика. Незалежна частина характеристики виходить за рахунок насичення сердечника електромагнітів. Для збільшення витримки часу іноді застосовують постійні магніти 19 (рис. 3.5). При обертанні диска магніт наводить в диску вихрові струми, взаємодія яких з магнітним потоком створює гальмівний момент. Цей же постійний магніт служить для усунення інерційного обертання диска 18 після зникнення струму в електромагнітах.

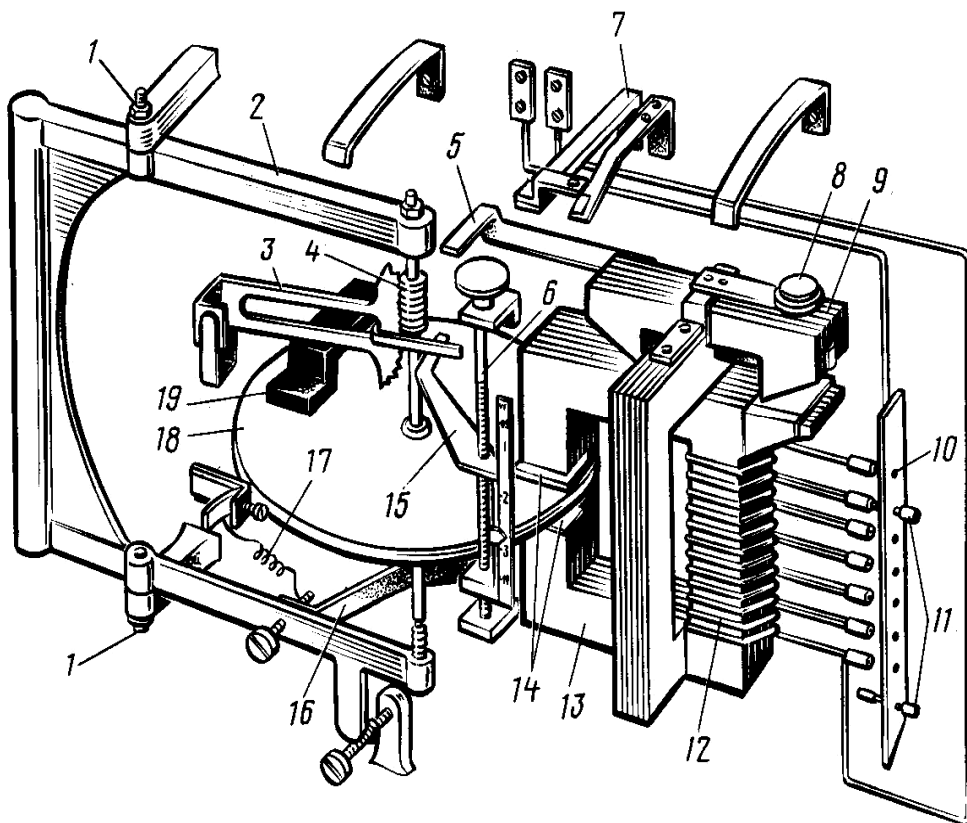


Рис.3.5 - Конструкція індукційного струмового реле РТ-80:

1 – центр обертання; 2 – рама; 3 – зубчастий сегмент; 4 – черв'як диска; 5 – коромисло; 6 – регулюючий гвинт; 7 – контакти; 8 – гвинт регулювання струму відсічки; 9 – якір; 10 – отвори зі штирями; 11 - для регулювання струму уставки залежної характеристики; 12 - котушка; 13 – сердечник електромагніту; 14 – короткозамкнені витки; 15 – упор зубчатого сегмента; 16 - скоба; 17 – притискна пружина; 18 – диск; 19 – постійний магніт.

Швидкої дії індукційних реле досягають за рахунок зменшення кута повороту і зменшення моменту інерції рухомої системи. Наприклад, індукційні реле з циліндровим ротором завдяки малому діаметру ротора мають час дії близько (0,02—0,04)с, тобто не відмінне від часу дії електромагнітних реле.

Необхідно наголосити на ще одній важливій особливості роботи індукційних реле. Момент опору ротора або диска при закручуванні пружини зростає, а момент електромагнітних сил при незмінному струмі залишається постійним. В результаті диск може зупинитися, не дійшовши до контакту, або натиск на контакти буде дуже слабким. Для усунення цього недоліку в диску роблять радіальні надрізи так, щоб у міру повороту диска довжина надрізів в зоні магнітного потоку зменшувалася, а момент обертання збільшувався, або застосовують спеціальну сталеву скобу 16, яка за рахунок потоків розсіювання, притягуючись до магнітопроводу реле, компенсує збільшення моменту опору.



*Реле часу.* Для забезпечення селективної роботи захисту застосовують реле часу типів ЕВ-112 і ЕВ-144, що працюють на постійному струмі, типів ЕВ-215, ЕВ-245 — на змінному струмі.

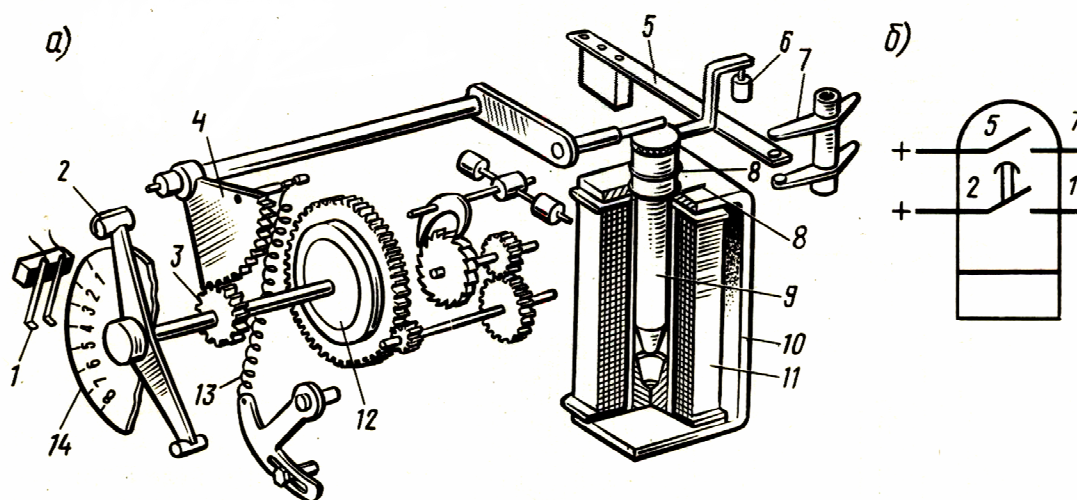


Рис. 3.6 - Реле часу: а – пристрій; б – електрична схема

Реле (рис. 3.6) має котушку 11, магнітопривод 10, якір 9 з поворотною пружиною 8. Коли котушка 11 включається, якір 9 втягується, пружина 8 стискається. Повідець 6 замикає контакти миттєвої дії 5 і 7 (рис.3.6, б). Пружина 13 через зубчатий сегмент 4, зубчате колесо 3 і фрикційне зчеплення 12 приводить в дію годинниковий механізм, який повертає пересувний контакт 2, замикаючий контакт 1 (рис. 3.6, а).

Витримка часу на замикання контактів 1 і 2 залежить від початкового положення контакту 1 на шкалі 14.

Реле часу типів РВМ-12 і РВМ-13 працюють на змінному струмі і включаються в ланцюг вторинної обмотки трансформатора струму. Витримка часу в них здійснюється синхронним електродвигуном.

Проміжні реле в пристроях захисту призначені для розмноження імпульсів, вказівні реле — для подачі сигналів спрацьовування захисту і реле часу — для забезпечення селективності в ланцюгах захисту.

### 3.3. Автоматика введів (6 – 10) кВ

Виконавчим органом релейного захисту на тягових підстанціях є високовольний вимикач, яким управляють з щита підстанції або з диспетчерського пункту. Вони мають пристрої автоматичного повторного включення (АПВ) і автоматичного включення резервного вводу (АВР).

Необхідність АПВ високовольного вимикача викликана тим, що більше половини коротких замикань в мережах носить короткочасний характер. Після автоматичного відключення пошкодженої ділянки останній в деяких випадках відновлюється, і лінію включають в роботу. Це включення проводять або черговим персоналом від кнопки управління, або автоматично від спеціального пристрою АПВ (в даний час близько 90% ТП телекеровані).

По числу автоматичних включень АПВ буває одно- і багатократної дії. Найчастіше застосовують одноразове АПВ.

Дія АПВ може бути миттєвим і з витримкою часу. Час роботи миттєвого АПВ складається з часу роботи пристрою і власного часу дії вимикача. Цей час повинен бути більше часу деіонізації дугового проміжку в місці пошкодження.

Оскільки вимикачі за наявності АПВ працюють у важчих умовах, при виборі їх необхідно гранично знижувати струм, що відключається, введенням коефіцієнта  $K_{АПВ}$ :

Номінальний струм відключення вимикачів, кА ...	10	10-20	20-40
Значення коефіцієнта $K_{АПВ}$ .....	0.8	0,73	0,7

Наприклад, якщо вимикач забезпечений пристроєм одноразового миттєвого АПВ за циклом «включено — відключено - витримка часу 0 — включено — відключено», то при номінальній напрузі 6 кВ номінальний струм відключення вимикача, що дорівнює 20 кА, повинен бути понижений

$$I_{НОМАПВ} = K_{АПВ} \cdot I_{НОМ} = 0,73 \cdot 20 = 15 \text{ кА.}$$

Пристрої АПВ можуть бути електричними і механічними. Прикладом останніх може служити АПВ універсального пружинно-вантажного приводу ППМ. Проте найчастіше застосовують електричну (релейну) схему, яка має досить різноманітне виконання.

До пристроїв АПВ пред'являють достатньо жорсткі вимоги:

- \* вони не повинні діяти після дистанційного відключення вимикача ключем керування;
- \* схема АПВ повинна виключати багатократне включення при будь- яких несправностях в реле або схемі;
- \* АПВ повинні прискорювати дію захисту;
- \* пуск АПВ повинен здійснюватися або при невідповідності положень ключа керування вимикача (ключ знаходиться у включеному положенні, а вимикач відключений), або при спрацюванні релейного захисту.

Практично на тягових підстанціях АПВ вимикачів вводів застосовують рідко.

Автоматичне включення резерву (АВР) живильних ліній 6 або 10 кВ ТП використовують в тому випадку, якщо лінії не працюють паралельно (наприклад, лінії відходять від різних підстанцій енергосистеми).

Пристрої АВР так само, як і АПВ, механічні й електричні. Останні працюють на оперативному змінному або постійному струмі. Незалежно від принципу роботи пристрою АВР повинні включати резервну лінію при пошкодженні робочої лінії. Включатися резервна лінія повинна через мінімально можливий час (ТП відноситься до споживачів 1-ої категорії [1, 17,19]. Схема керування робочим і резервним вводами багатоагрегатної підстанції багато в чому є однаковими. Резервний ввід відрізняється лише наявністю ланцюгів АВР в схемі керування (рис. 3.7). Схема вводу передбачає оперативне управління з щита і з диспетчерського пункту, автоматичне включення при відключенні робочого вводу, а також захист від пониження напруги.



замиканням контактів телекерування  $K$ , тобто збудженням вимикаючої котушки приводу  $YA2$ . Автоматичне включення резервного вводу відбувається при автоматичному відключенні основного вводу, коли на останньому зникає напруга. При включенні основного вводу універсальний пакетний ключ  $SA2$  встановлюють в положення АВР. В цьому випадку ланцюг автоматичного включення резервного вводу, підготується до спрацьовування. У разі зникнення напруги на робочому вводі його масляний вимикач відключиться і одержить живлення контактор  $KM$ . При к.з. на резервному вводі спрацьовує максимальний струмовий захист цього вводу, замкнуться контакти  $KA1$  і  $KA2$  і тим самим одержить живлення реле  $KT2$ . Останнє своїм контактом через вказівне реле  $KH5$  замкне ланцюг відключення вимикача. Якщо к. з. відбулося при включенні резервного введення, то своїми контактами реле  $KT2$  миттєво включить вказівне реле  $KH3$  через замикаючий контакт  $KV3$ , який ще не встиг розімкнутися після включення вводу, одержить живлення електромагніт включення  $YA2$ .

### 3.4. Автоматика перетворювального агрегату ВАКЛЕ

Схема керування перетворювальним агрегатом (рис.3.8) передбачає:

- \* телекерування (включення і відключення агрегату) з диспетчерського пункту (відповідно контактами  $K$ );
- \* автоматичний і роздільний (ручний) режими керування масляним вимикачем ( $MB$ ) і автоматичним вимикачем ( $AB$ ).

Автоматичне керування здійснюють: одним сигналом включення (відключення)  $MB$  і  $AB$ , або з шафи перетворююча секція ( $ПС$ ) (місцеве керування), або телеканалом (телекерування).

Ручне керування передбачає роздільне включення  $MB$  і  $AB$  з шафи  $ПС$ .

Схем керування живить постійний струм від випрямляча. Вибір режиму керування здійснюють перемикачем  $S2$ .

При переведенні перемикача *S2* у положення «Роздільне місцеве» забезпечується схема керування на реле і в схемі включення (відключення) *MB* і *AB* підключаються контакти кнопових вимикачів *S3* і *S4*. При цьому слід пам'ятати, що схема захисту агрегату може бути знеструмлена вимикачем *S1*. Тому такий режим може бути рекомендований як налагоджувальний, без подачі напруги головних ланцюгів.

При перекладі перемикача *S2* у положення «Автоматичне місцеве» від схеми включення (відключення) *AB* і *MB* відключаються контакти вимикачів *S3* і *S4* роздільного місцевого керування. При натисненні кнопового вимикача *S3* включається реле *K19*, і стає на самопідживлення. Контактми *K19* замикається ланцюг 41—45 і відбувається включення *MB*. Контактми *K19* також замикається ланцюг 81—84 і, якщо *MB* включився, збирається ланцюг 83—85 включення *AB*. Таким чином, включення *AB* і *MB* здійснюють однією командою, але послідовно. При включенні *AB* і *MB* замикається ланцюг 49—95 і реле *K13* розбирає ланцюг живлення *K19*. Процес включення закінчений. Відключення агрегату здійснює реле *K20* при замиканні його контактами ланцюгів 41—50. При цьому також розбирають ланцюг реле включення *K19*.

Включення (відключення) агрегату телеканалом здійснюють аналогічно режиму «Автоматичне місцеве», але при положенні перемикача *S2* «Автоматичне теле». При цьому режимі відключають контакт вимикача *S3* і підключають ланцюги телекерування.

Відключення агрегату можливе як телеканалом, так і з шафи *ПС* вимикачем *S4*. Включення агрегату (як резервного) здійснюють замиканням ланцюга 51-52.

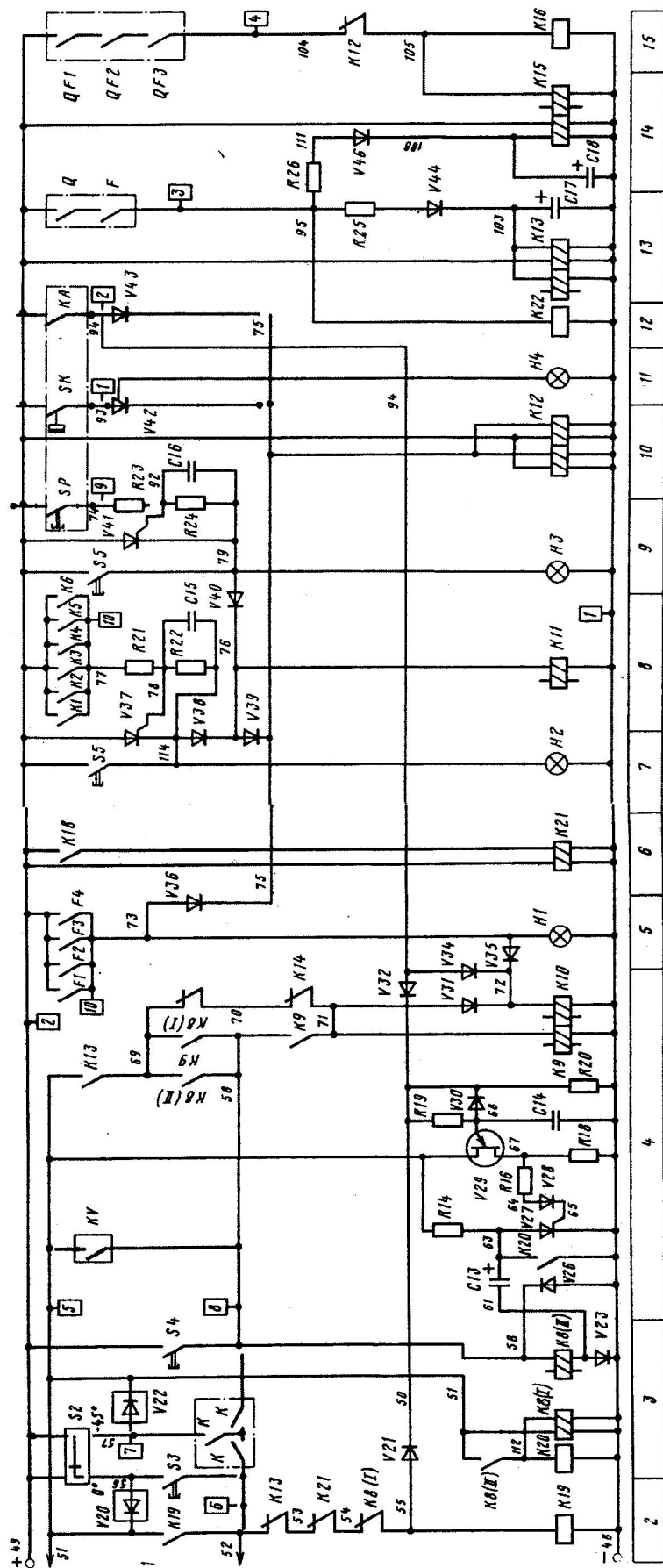


Рис.3.8 - Схема керування перетворювальним агрегатом ВАКЛЕ: 1 - ланцюги в схему резервного агрегату; 2 - включення агрегату; 3 - відключення агрегату; 4 - включення резервного агрегату; 5 - контроль перегорання запобіжників; 6 - газовий захист; 7 - пробій діода і газова сигналізація; 9 - газова сигналізація трансформатора; 10 - несправність агрегату; 11 - перегрів трансформатора; 12 - положення агрегату; 13 - блокування включення агрегату; 14 - контроль напруги

Якщо в процесі роботи агрегату відбулося відключення *МВ* і *АВ* то спочатку відключиться реле *R14*, замкне контакти в ланцюзі *70-71*, але оскільки конденсатор *C17* розряджається через котушку *K13*, то реле продовжує залишатися у включеному стані і ланцюг *51-69* теж замкнений. Спрацьовують реле *K9* і *K10*. Останнє своїми контактами замкне ланцюг включення резерву, а реле *K9* замкне ланцюг живлення реле *K8*, привівши обидва вимикачі в початковий стан. Час, що надають на відключення вимикачів, визначається чутливістю реле *K13* і часом розряду конденсатора *C17* (складає 1-2) с.

Схема захисту виконана на основі релейних і напівпровідникових елементів.

В процесі включення агрегату можливе невключення *МВ* і *АВ*. При цьому для обмеження тривалості протікання струму апаратами включення, застосоване електронне реле часу на двух-базовом транзисторі *V29*.

Одночасно з включенням реле *K19* через діод *V21* подають напругу на резистори *R19* і *R20*. Починається заряд конденсатора *C14*. Досягши напруги на *C14* порозі відкриття *V29* (6-8)с відкривається і розряджає конденсатор *C14* на перехід тиристора, що управляє *V27*. Тиристор, відкриваючись, розряджає заздалегідь заряджений конденсатор *C13* на реле *K8*. Реле *K8* спрацьовує, відключаючи *МВ* і *АВ* і знеструмлюючи реле *K7*. Конденсатор *C14* розряджається через *R19* і *R20*. Схема повертається в початковий стан і готова до наступного включення.

Якщо ж при включенні процес відбувається нормально і час менше (6-8)с, то розбирають ланцюг живлення реле *K7*, *R19* *R20*, і конденсатор розряджається через *R20*, не досягнувши порогу спрацьовування *V29*.

При неприпустимій за значенням і тривалості перевантаження замикається контакт *НО* (реле з струмочасовою залежністю в релейному захисті агрегату), подають живлення на реле *K10* включення резервного агрегату підстанції і на схему заряду конденсатора *C14* реле витримки часу. Якщо після закінчення витримки часу (7-8)с (час, що надають для включення



резерву і зняття перевантаження) перевантаження не знімається, то агрегат відключають по ланцюгу *V29, C13, K8*.

При замиканні на землю в системі 600В на підстанції агрегат відключають через реле *Kв*. І одночасно для надійності дії захисту контакти реле *KV*, які встановлені на підстанції, заведені в схему відключення МВ.

Сигналізація спрацьовування захисту агрегату здійснюється блинкерними реле і сигнальними лампами. Всі сигнали спрацьовування захисту зосереджені на реле *K12*, яке своїми контактами дає заборону на включення агрегату як резервне.

Сигнал несправності агрегату (спрацьовування захисту або відсутність напруги керування) поступає до схеми вибору резерву, звукової сигналізації і в телесигналізації.

Візуальну сигналізацію стану захисту з аварійними порушеннями режиму здійснюють блинкерними реле. Решта сигналізації захисту, положення вимикачів і зникнення напруги керування виконана на сигнальних лампах.

Деблокування газової сигналізації здійснюють вимикачем *S5*. Решту сигналів знімають після усунення несправності (заміна запобіжника, охолодження перетворювального трансформатора, зняття перевантаження).

### **3.5. Автоматика пристроїв живильних ліній 600 В**

*Загальні положення.* Роботу живильних ліній 600 В характеризують нормальний і аварійний режим. У нормальному режимі роботи навантаження живильної лінії визначають тяговим навантаженням потягів, що рухаються в районі відповідної ділянки контактної мережі.

Аварійний режим живильної лінії виникає внаслідок коротких замикань і таких перевантажень, які викликають шкідливу термічну дію в проводі та кабелі.

Коротке замикання може виникати на рухомому складі, в контактній мережі, живильному проводі і кабелі. Коротке замикання на рухомому складі ліквідовується своїм автоматичним вимикачем. Тому вимикач живильної лінії

на підстанції, як правило, не відключають, а в разі відключення мусить бути знову включений. Коротке замикання в контактній мережі може виникнути внаслідок падіння проводу на землю або на рейки, при обриві або замиканні тролейбусних проводів від схльостування при розгойдуванні або замиканні проводу штангою.

При замиканні проводу коротке замикання може носити короткочасний характер, якщо після обриву він не замкнувся.

Слід зазначити, що при обриві проводу і падінні його на землю або на дорожнє покриття, струм к.з. звичайно невеликий і не викликає відключень лінійного вимикача підстанції. Повторно вимикати вимикач, що відключився від к.з. в контактній мережі, доцільно лише в тому випадку, якщо стан контактної мережі не порушений і вона придатна для нормальної роботи. Але для цього потрібні спеціальні пристрої, що контролюють її стан. Замикання в живильному кабелі має бути завжди супроводжуватися відключенням вимикача, повторного включення.

### **3.6. Схема керування лінійним вимикачем багатоагрегатної підстанції**

Ця схема (рис. 3.9) забезпечує:

- \* місцеве керування і телекерування;
- \* можливість ручного вибору роду керування;
- \* виключення вимикача з панелі пристрою за будь-якого вибору роду керування;
- \* автоматичне відключення вимикача від струмів к. з., менших власної вставки вимикача (ТВЗ);
- \* перевірку стану лінії на коротке замикання перед автоматичним включенням вимикача (ВКЗ);
- \* можливість ручного і телевключення вимикача без випробування лінії;
- \* повторне включення вимикача після автоматичного його відключення за заданим циклом;

- \* збереження блокування вимикача (неможливість мимовільного включення) при короткочасному зникненні напруги на схемі АПВ;
- \* необхідну світлову і звукову сигналізацію.

Схема телесигналізації передбачає: сигнали положення вимикача; положення перемикача запасної шини; відсутність (наявність) напруги на лінії 600В; несправність вимикача (з'являється при зникненні напруги на будь-якій зі схем керування).

Розглянемо роботу схеми (рис.3.9). Режим включення після місцевого керування (рис. 3.9, а). При натисненні кнопки *SB1* (включення) одержує живлення контактор включення *KM2* по ланцюгу  $1-SA1-11-SB1-9-K9-8-KM2-7-K1-2$ . Контактор спрацьовує, замикаючи свої контакти в ланцюзі котушки керування *YA*. Якір лінійного вимикача *QF* переходить у включене положення, що замикає контакт *QF*, замикає ланцюг реле *K1*, яке встає на самопідживлення і розриває ланцюг живлення контактора *KM2*; котушка керування *VA* знеструмлюється і головні контакти лінійного вимикача *QF* замикаються. Лінійний вимикач включений.

Призначення *K1*: запобігати «дзеленчання» при аварійному прямому струмі головного ланцюга вимикача *QF*; забезпечувати короткочасне протікання струму котушкою контактора *KM2*.

Сигналізація включеного положення *QF* здійснюють лампою (у схемі сигналізації).

*Режим телекерування.* У цьому режимі перемикач *SA1* переводять в положення *TU*. При виконанні операції «Включення» спрацьовують і замикаються контакти вихідних реле *OB* і *OY*. Котушка контактора *KM2* одержує живлення по ланцюгу  $1-SA1-12-OY-OB-8-KM2-7-K1-2$ . Далі процес включення здійснюється аналогічно режиму місцевого включення.

*Режим відключення за місцевим керуванням.* При натисненні кнопки *SB4* одержує живлення котушка контактора відключення *KM1* по ланцюгу  $1-SB4-13-KM1-2$ .

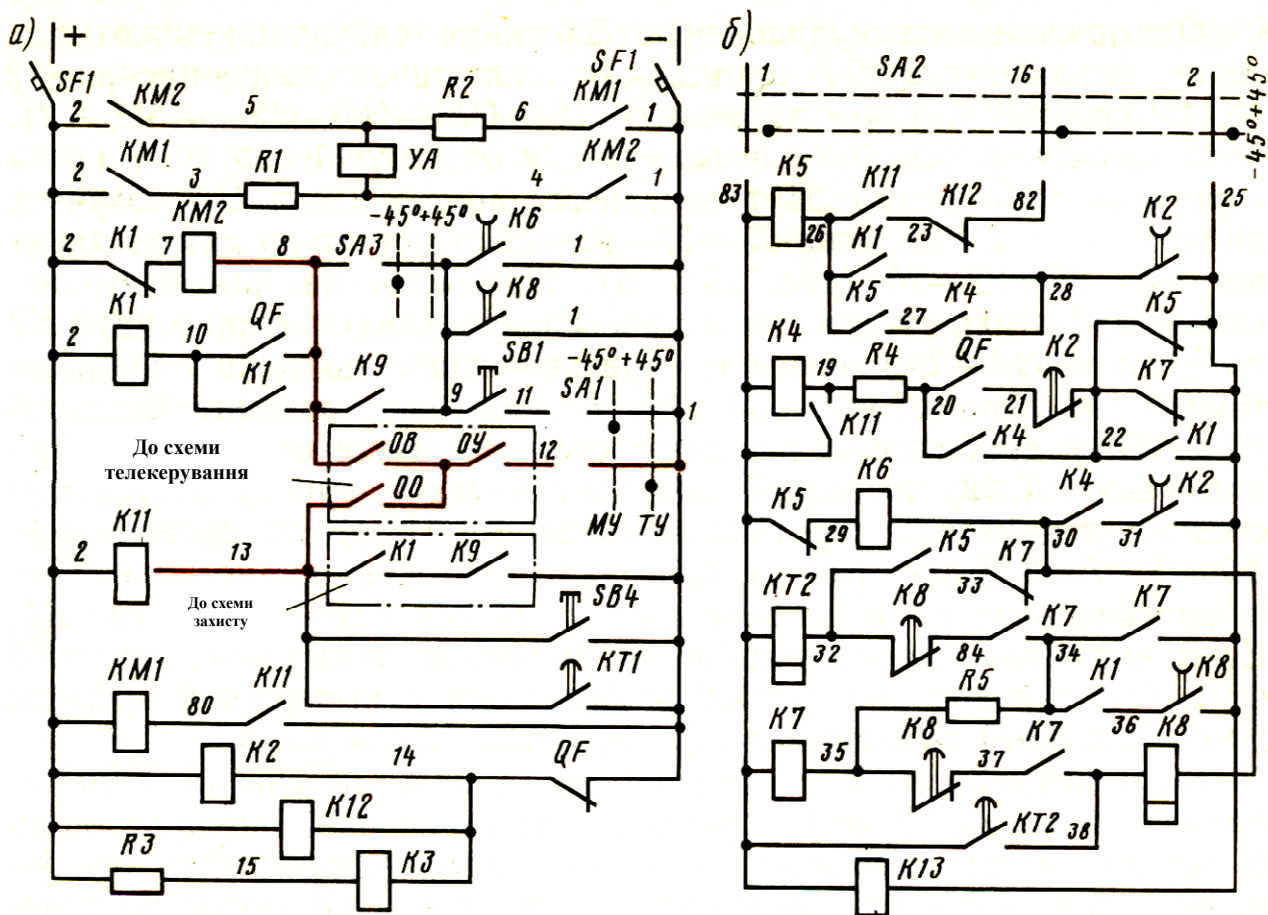


Рис. 3.9 - Схема керування лінійним вимикачем багатоагрегатної підстанції:

а — ланцюги керування; б — ланцюги АПВ

Контактор спрацьовує і замикає свої головні контакти в ланцюзі котушки управління  $YA$  лінійного вимикача, при цьому по останній протікає струм зворотного напрямку. Лінійний вимикач  $QF$  відключається.

*Відключення за телекеруванням.* У режимі телекерування відключення вимикача  $QF$  відбувається аналогічно вищеописаному ( $KM1$  одержує живлення по ланцюгу 1—12— $OU$ — $OO$ —12— $KM1$ —2).

*Відключення лінійного вимикача від аварійного струму (струму короткого замикання).* При включенні вимикача  $QF$  одержує живлення реле  $K4$  по ланцюгу 25—22—21—20 і встає на самопідхоплення по ланцюгу 25—22—20 (рис. 3.9, б). При к.з. на лінії вимикач  $QF$  відключається автоматично. Одержує живлення реле  $K2$  по ланцюгу 1—14—2, миттєво перемикає по ланцюгу свої контакти. Ланцюгом 25—31—30—29—83 одержує живлення реле  $K6$  (1-е АПВ), спрацьовує, замикає свій контакт в ланцюзі контактора включення  $K.M2$ ,

останній одержує живлення при дозволеному сигналі випробувача коротких замикань (ВКЗ) ланцюгом  $1-9-K9-8-7-2$ . Далі режим включення протікає аналогічно. При включенні реле  $K1$  короткочасно подає живлення на реле  $K5$ . Якщо включення відбулося не на коротке замикання, реле  $K5$  відпадає, оскільки контакт  $K2$  розмикається з витримкою часу 20с. Лінійний вимикач  $QF$  залишається включеним.

Якщо випробувач к.з. (ВКЗ) видав помилковий сигнал «Чиста лінія», а на лінії є коротке замикання або воно відбулося протягом паузи стеження 20с, лінійний вимикач відключається, реле  $K2$  знову одержує живлення і його контакти не встигають повернутися в початкове становище. При цьому реле  $K5$  стійко одержує живлення ланцюгом  $25-28-26$ , розмикає свій контакт в ланцюзі реле  $K6$  (1-е АПВ) і замикає свій контакт в ланцюзі реле  $KT2$  (2-е АПВ), останнє одержує живлення ланцюгом  $25-31-30-33-32$  і через 180 із замкне свій контакт в ланцюзі реле  $K8$  (реле- повторювач 2-го АПВ), і воно одержить живлення ланцюгом  $25-31-30-38-83$  і замкне свій контакт в ланцюзі контактора до включення  $KM2$ . Далі процес включення протікає аналогічно. Лінійний вимикач включається.

Якщо лінійний вимикач знов відключається протягом паузи 20с, котушка реле  $K5$  залишається під струмом, його контакт в ланцюзі самопідхоплення реле  $K4$  - розімкнений.

При спрацьовуванні реле  $K8$  в циклі 2-го АПВ замикається. Його контакт в ланцюзі реле  $K7$  при подачі живлення на реле блокування  $K1$ ,  $K7$  одержить живлення ланцюгом  $25-36-34-35-83$  і встане на самопідхоплення ланцюгом  $25-34-35-83$  і розімкне свій контакт в ланцюзі самопідхоплення реле  $K4$  і в ланцюзі реле  $KT2$ . Таким чином, реле фіксації  $K4$  втрачає живлення і розмикає свої контакти в ланцюгах АПВ. Повторне включення блокується, лінійний вимикач залишається відключеним до втручання чергового персоналу.

У режимі 2-го АПВ після спрацьовування  $K7$  втрачають живлення реле  $KT2$  і  $K8$ , контакти останнього повертаються в початкове положення через 20с, при цьому знов починає набирати витримку часу реле  $KT2$ , одержуючи

живлення ланцюгом 25—34—84—32. Якщо включення вдале і лінійний вимикач не відключає свій контакт в ланцюзі шунтування реле *K7*, котушка останнього знеструмиться, і схема nebude в початкового стану.

Якщо лінійний вимикач відключається автоматично в інтервалі (20—180)с, то реле *K6* знов одержить живлення ланцюгом 25—31—30—29 і здійсниться повторне включення лінійного вимикача; якщо воно невдале, то подальші АПВ блокуються, *QF* залишається відключеним.

### **3.7 . Власні потреби (ВП) ТП**

Пристрої власних потреб (ВП) ТП є комплекс джерел живлення при напрузі 380/220 В і апаратів, що призначені для забезпечення нормальної роботи перетворювальних агрегатів та іншого силового устаткування. Джерелами живлення ВП змінного струму є трансформатори ВП і міський ввід напруги 380/220 В. Споживачами постійного струму ВП є тільки такі апарати, які внаслідок своїх конструктивних особливостей не можуть працювати на змінному оперативному струмі. До них відносять обмотки приводів масляних вимикачів і котушки управління деяких типів швидкодіючих вимикачів. Джерелами живлення цих споживачів, як правило, служать випрямлячі, що приєднані до шин ВП змінного струму.

Питома витрата електроенергії на ВП сучасних ТП складає близько 0,3% на 1 квт/год перетвореної електроенергії.

Вибір потужності трансформатора ВП слід проводити за середніми розрахунковими навантаженнями і перевіряти на найбільш можливих короткочасних навантаженнях з урахуванням перевантажувальної здатності трансформатора.

Потреба резервного міського вводу залежить від кількості трансформаторів ВП і схеми включення їх в розподільному пристрої 6 або 10 кВ. У разі приєднання одного з трансформаторів до резервного вводу 6 або 10 кВ до масляного вимикача резервний ввід 380/220 В не потрібен. За наявності

тільки одного трансформатора ВП потужність резервного вводу повинна відповідати потужності трансформатора. Приєднання трансформатора напруги може здійснюватися до шин або до вводу (рис.3.9а, 3.9б). В автотелекерованих підстанціях слід віддавати перевагу останньому варіанту, оскільки в цьому випадку з диспетчерського пункту можна контролювати напругу. Збірні шини 10кВ на ТП можуть бути простими (не секціонованими) при децентралізованій системі живлення, секціонованими і подвійними для багатоагрегатних підстанцій централізованої системи. На підстанції передбачені в негативних живильних лініях два кабелі, що працюють паралельно для забезпечення необхідного перетину і для збільшення надійності роботи. На могутніх тягових підстанціях для підвищення надійності звичайно застосовують два трансформатори ВП (ТМ-25; ТМ-40 або ТМ-63). З боку шин 10 кВ обидва трансформатори нормально знаходяться під напругою, проте на шини ВП включений лише один з них. Другий трансформатор включається за допомогою контактора (АВР) лише в тому випадку, якщо зникає напруга на першій. Шини ВП перемикаються з робочого трансформатора на резервний за допомогою схеми автоматичного аварійного перемикання.

На сучасних тягових підстанціях виробництва система керування і діагностики (СДУ) повністю уніфікована з системою діагностики «нульових» випрямлячів і виконана на базі контролеру виробництва ЗАТ «ПЛУТОН» (м. Запоріжжя) і НПП «ЕНЕРГІЯ» (м. Москва). Але на відміну від «нульового» випрямляча в даному випрямлячі діагностуються не 12-и, а 24-х діодів.

Шафа власних потреб нового покоління завдяки оригінальній конструкції замінила собою три шафи (ЩВП – 1М, ЩСН – 2М, ЩВП – 3М), що випускалися раніше (рис. 3.10 ).Конструктивно ШВП складається з шафи одностороннього обслуговування з габаритами 1200 х 500 х 2000 мм, що забезпечує ступінь захисту 1Р55 за стандартами EN 60 529 і IEC 529.

Органи керування розділені на дві групи: 1-а група – найбільш частовикористовувані в оперативних перемиканнях розташована на дверях шафи, 2-а група розташована всередині на двох поворотних рамах

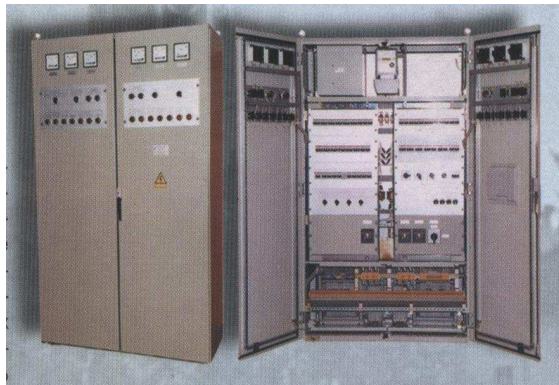


Рис. 3.10 - Шафа власних потреб

Релейно-контакторна апаратура і апаратура захисту і автоматики встановлена на монтажній панелі, що розташована на задній стінці шафи, забезпечуючи таким чином високу технологічність збірки і наладки виробу, а також хорошу ремонтпридатність.

Структурно ШВП має можливість підключення до трьох вводів: двом високовольтним вводам і одному міському вводу з АВР у випадку зникнення живлення на якому-небудь вводі.

Шафа ШВП має два джерела випрямленої напруги 220В, що працюють в паралель від двох вводів.

До складу ШВП входять два джерела ВПН і два джерела ВПТ. У шафах ШВП використані комплектуючі вироби фірм провідних європейських виробників.

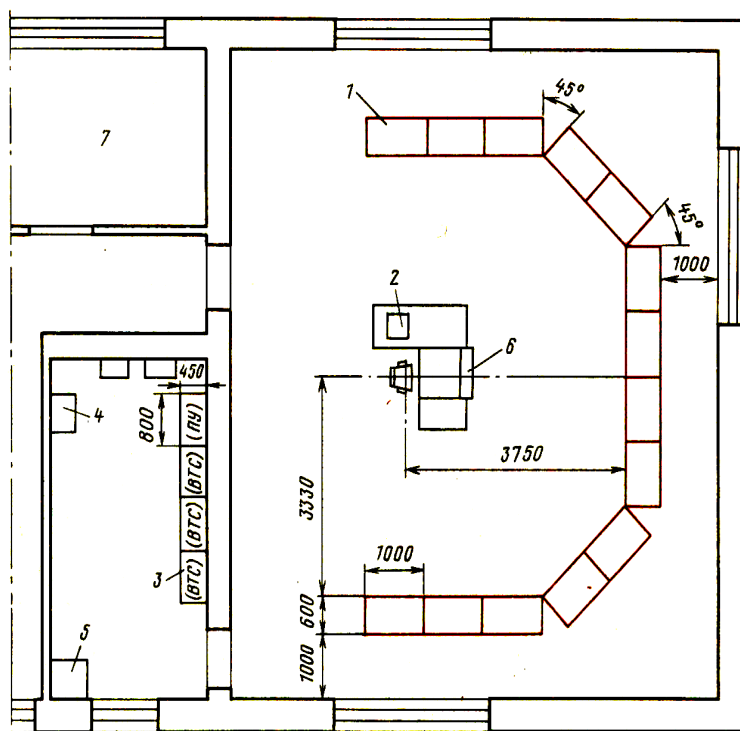
### **3.8. Електродиспетчерські пункти**

Диспетчеризацією будь-якого виробництва називають систему безперервного технічного контролю і оперативного керівництва виробничим процесом. Стосовно системи електропостачання міського електричного транспорту диспетчеризація забезпечує безперервний контроль технічного полягання устаткування тягових підстанцій, позитивних і негативних ліній, контактної мережі, а також дає можливість вибрати таку схему електропостачання, за якої будуть гарантовані найбільша надійність і



На сьогодні у великих містах створені районні диспетчерські пункти, що обслуговують від 5 до 15 тягових підстанцій кожний. Разом з тим, підвищення надійності роботи тягових підстанцій і обумовлене цим зменшення кількості сигналів і полегшення роботи диспетчера, стали причиною істотного укрупнення диспетчерських пунктів. Створюються диспетчерські пункти для (25—30) тягових підстанцій і більше.

Електродиспетчерські пункти (рис. 3.11) розташовують, як правило, в спеціально обладнаному приміщенні однієї з тягових підстанцій району.



97

Устаткування електродиспетчерських пунктів (рис. 3.11) складається з диспетчерських сигнальних щитів 1, пультів управління 6, релейної апаратури телекерування 4, телесигналізації і телевимірювання 5. Диспетчерські щити 1 випускають збірними з окремих панелей. Панелі щитів 2 набирають з горизонтально розташованих металевих секцій каркасного типу. Диспетчерські столи служать для організації робочого місця диспетчера, розміщення щита управління, приймальних приладів телевимірювання і апаратури прямого диспетчерського зв'язку (телефонного комутатора). Кнопки виклику телевимірювання і приймальні прилади розташовують на панелі приладового корпусу.

*Лінії зв'язку* між диспетчерським пунктом і керованими об'єктами бувають повітряними і кабельними. Повітряні лінії зв'язку прокладають по опорах або по поперечних тросах підвіски контактної мережі. Але, як показав досвід експлуатації, повітряні лінії зв'язку є малонадійними. Стан ізоляції проводів залежить від метеорологічних умов (туман, дощ, ожеледиця), від забруднення і пошкодження ізоляторів. Сильні вітри і ожеледь приводять до схльостування і обриву проводів. Крім того, на роботу ліній впливають грозові розряди.

Кабельні лінії зв'язку відносяться до числа найнадійніших каналів зв'язку. Вони мало схильні до механічних пошкоджень і зовнішніх впливів атмосфери; крім того, опір ізоляції кабельних ліній достатньо великий.

### **3.9. Захисне заземлення**

*Загальні відомості.* Дотик людини до струмоведучих частин або до металевих конструкцій, що виявилися під напругою внаслідок порушення ізоляції, може призвести до поразки електричним струмом. Захист персоналу від таких поразок здійснюють огорожею струмоведучих частин електричних установок або підняттям їх на висоту 2,5 м, а також шляхом заземлення або занулення всіх металевих конструкцій, що нормально не знаходяться під напругою.

Занулення застосовують в мережах із заземленою нейтраллю напругою 600, 380 і 220 В. При цьому всі корпуси електроустаткування з'єднують із заземленою нейтраллю трансформатора (рис.1.9,1.10). Повторне заземлення нульового проводу здійснюють через кожні 25 0м.

Згідно з вимогою ПУЕ заземлювати слідє металеві не струмоведучі частини електроустановок і устаткування при напрузі вище 42 В змінного струму у всіх виробничих приміщеннях, а також в зовнішніх установках.

Не вимагається спеціально заземляти: арматуру підвісних і штирів опорних ізоляторів, кронштейни і освітлювальну арматуру при установці їх на дерев'яних опорах і дерев'яних конструкціях, відкритих підстанцій (дерево служить ізоляцією), а також устаткування, встановлене на заземлених металевих конструкціях за наявності на опорних поверхнях надійного електричного контакту (зачистка і покриття вазеліном); корпуси приладів електровимірювань, реле і т. д., встановлених на заземлених металевих щитах; електроприймачі, що мають додаткову (подвійну) або посилену ізоляцію або включені через ізолюючі трансформатори; знімні або частини, що відкриваються на металевих заземлених каркасах і камерах розподільних пристроїв, на огорожах, шафах, дверях і т. д.; рейкові шляхи, що виходять за територію підстанцій і промислових підприємств.

Поразка електричним струмом відбувається в результаті проходження струму через тіло людини або в результаті дії електричної дуги. Практикою і досвідом встановлено, що постійний струм на організм діє слабкіше, ніж змінний, проте з підвищенням частоти дія змінного струму на організм слабшає. Слід мати на увазі, що при поразці електричним струмом у ряді випадків можлива так звана «уявна смерть»; втрата ознак життя викликана тільки функціональним пристроєм. У цьому випадку при своєчасному використанні штучного дихання діяльність серця і легенів відновлюється.

Одним з важливих заходів для гарантування безпеки є заземлення.

Заземленням якої-небудь частини електричної установки називається навмисне електричне з'єднання її із заземлювальним пристроєм. Заземлювачем

називається металевий провідник або група провідників, що знаходяться в безпосередньому дотику із землею, а заземлюючими провідниками називаються металеві провідники, що з'єднують частини електроустановок, що заземляються, із заземлювачами. В якості заземлювальних пристроїв повинні використовуватись в першу чергу природні заземлювачі.

Якщо природних заземлювальних пристроїв немає або їх використання не дає потрібних результатів, необхідно виконати *штучні заземлювачі*.

Як природні заземлювачі використовують водомісні і інші металеві трубопроводи, за винятком трубопроводів горючих рідин, горючих або вибухових газів, а також трубопроводів, покритих ізоляцією для захисту від корозії. Широко використовувати їх можна за умови, що в електроустановці не менше двох кабелів. Як природні заземлювачі використовуються також металеві конструкції будівель і споруд.

Штучні заземлювачі — це металеві електроди, спеціально призначені для пристрою заземлень. Вони виконуються з кутової або круглої сталі.

При виборі заземлювачів слід віддавати перевагу стержням з круглої сталі діаметром 12 мм і завдовжки 5 м. Такі стержні легко занурюються в ґрунт за допомогою електродриля або вібраційним методом.

Вживання таких стержнів замість стержнів, що раніше застосовувалися з кутової сталі розміром 50x50x5 мм завдовжки 3 м економить час і знижує трудомісткість монтажних робіт з одночасною економією металу. *Напругою щодо землі* при замиканні на корпус називають напругу між цим корпусом і точками землі, що знаходяться зовні зони струмів в землі, але не ближче за 20м.

Поразка струмом відбувається головним чином в результаті дотику персоналу до заземлених конструкцій, ізоляція яких від струмоведучих частин порушена. При цьому людина знаходиться під *напругою дотику*  $U_{\text{пр}}$ , який залежить від потенціалу землі поблизу ніг, що характеризується коефіцієнтом дотику ( $J = 0,5 \div 0,2$ ).

Напруга дотику і крокова напруга можуть бути значно понижені, якщо зменшити градієнт потенціалу поблизу електроду. В установках напругою вище 1000 В, це досягається пристроєм так званих *контурів заземлення*, які складаються з ряду металевих стержнів, що з'єднані з стержневими заземлювачами.

### **3.10 . Основні завдання і організація технічної експлуатації**

Технічною експлуатацією електроустановок називають *комплекс заходів, що забезпечують раціональне використання устаткування для електропостачання споживачів.*

Добре організована технічна експлуатація тягових підстанцій перш за все мусить забезпечувати електропостачання рухомого складу без таких перерв, які б шкідливо відображалися на русі. При цьому напруга на збірних шинах тягової підстанції має бути в заданих нормах.

Надійне електропостачання забезпечується нормальним проляганням устаткування підстанцій, що знаходиться в роботі і в резерві, і правильним проведенням операцій з цим устаткуванням.

Для того, щоб устаткування підстанції було завжди в працездатному стані, необхідно, щоб під час його експлуатації не порушувався нормальний режим, а огляд і ремонт устаткування проводилися в задані терміни і за високої якості.

Експлуатацію устаткування проводять відповідно до Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів і Правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів, Правил технічної експлуатації трамвая і тролейбуса, Правил пожежної безпеки, а також згідно з діючими посадовими інструкціями.

Правилами експлуатації тягових підстанцій установлені наступні види робіт за змістом і ремонтом устаткування: щоденний і періодичний огляди, поточний і капітальний ремонти.

Огляд і ремонт здійснює персонал підстанцій і спеціальна бригада ремонтного цеху відповідно до річних і місячних графіків робіт.

На автотелекерованих підстанціях устаткування оглядає один раз на тиждень майстер підстанції або спеціальна ревізійна бригада.

Періодичні огляди і поточний ремонт проводять тільки при відключеному устаткуванні та при знятій напрузі. Устаткування при цьому очищають від пилу і бруду, проводять детальний огляд апаратів із зачисткою і перевіркою контактів, регулюють рухомі частини, перевіряють опір ізоляції, усувають знайдені дефекти і несправності. Розбирання устаткування при поточному ремонті не проводять.

При капітальному ремонті проводять повне або часткове розбирання, ремонт і заміну зношених частин, перевірку і випробування після ремонту.

Всі види огляду і ремонту оформляють відповідними документами. Результати зовнішнього огляду і поточного ремонту заносять до вахтового журналу підстанції, а капітальний ремонт оформляють приймально-здавальною відомістю з переліком проведених робіт і випробувань. Для забезпечення нормальної роботи устаткування, його вибір і спосіб установки на підстанції, проводять відповідно до Правил пристрою електроустановок.

Для правильного проведення окремих видів операцій складають місцеві інструкції.

Основне правило при виробництві перемикачів у високовольтних ланцюгах полягає в тому, щоб розрив струму здійснювався апаратом, який здатний гасити дугу.

Перемикання розмикачів, як правило, повинне проводитися після виключення вимикача, оскільки розмикачі служать лише для зняття напруги з устаткування і для забезпечення видимого розриву ланцюга.

Порядок проведення операції встановлюють інструкції і правила окремо для кожного приєднання. Наприклад, при відключенні кабельної лінії первинного живлення 6 або 10 кВ рекомендують відключити вимикач, потім лінійний і, нарешті, шинний розмикачі.

Особливо важливо точно виконувати правила при відключенні устаткування для ремонту і включення його в роботу після виконання ремонту.

Всі порушення нормального режиму на підстанції мають бути ретельно розслідувані.

При розслідуванні виявляють: причини виникнення і розвитку пошкодження; причини пошкодження устаткування; конкретні винуватці виникнення і розвитку пошкодження; правильність або помилковість дії персоналу; причини неправильної роботи захисту і автоматики; конкретні пошкодження устаткування; тривалість простою устаткування і перерви в електропостачанні рухомого складу; встановлюють організаційні і технічні заходи щодо запобігання подібним пошкодженням.

Керівний технічний персонал зобов'язаний забезпечити вивчення і виконання всіма працівниками діючих правил і інструкцій з технічної експлуатації підстанцій і заходів щодо безпеки виробництва робіт. На підстанції повинен бути комплект необхідної технічної документації: генеральний план ділянки підстанції зі всіма спорудами і підземними комунікаціями; електрична схема всіх приєднань на напругу 10 кВ, 600 В і в системі власних потреб 380/220 В; технічні акти на приховані будівельні роботи; паспортні карти на устаткування, пристрої захисту, заземлення, вимірювальні прилади; журнал із записами результатів ремонту, виявлених дефектів і результатів випробування устаткування.

Оперативне керівництво експлуатацією тягових підстанцій у великих містах здійснює електродиспетчер. За наявності телекерування останній безпосередньо проводить оперативне управління, а на підстанціях з черговим персоналом - віддає розпорядження телефоном.

В енергогосподарствах, в яких експлуатуються автотелекеровані підстанції, окрім ремонтного персоналу, є оперативно-ремонтний персонал, в задачу якого входить допуск ремонтних бригад до робіт, контроль за виконанням ними правил техніки безпеки і виконання оперативних перемикачів.

### 3.11. Техніка безпеки на ТП

Безпека працюючого на підстанції персоналу і попередження нещасних випадків гарантується строгим дотриманням Правил техніки безпеки при експлуатації тягової підстанції трамвая і тролейбуса.

Правилами передбачається певний порядок виконання операцій, регламентуються умови проведення ремонтних робіт, обумовлюється порядок вживання захисних засобів і рекомендуються конструктивні заходи щодо створення безпечних умов експлуатації.

Всі ізолюючі захисні засоби, які використовують на підстанції, діляться на основні і додаткові.

Основними захисними засобами називають такі, ізоляція яких надійно витримує робочу напругу установки. До основних ізолюючих засобів відносять ізолюючі штанги, закоротки, ізолюючі обценьки для заміни запобіжників. В установках напругою до 1000 В додатково до основних захисних засобів відносять діелектричні рукавички і монтерський інструмент з ізолюючими ручками.

Додатковими захисними засобами називають такі, що не можуть гарантувати безпеку від поразки електричним струмом і призначені для посилення основних засобів. В установках понад 1000 В до додаткових захисних засобів відносять: діелектричні рукавички, діелектричні боти, гумові килимки і доріжки. В установках до 1000 В до додаткових захисних засобів відносять і гумові калоші.

При всіх операціях основні захисні засоби повинні застосовуватися одночасно з додатковими.

Самими споживаними захисними засобами є: оперативні штанги для включення і відключення розмикачів і для накладення закороток; обценьки для зміни високовольтних запобіжників під напругою; діелектричні рукавички, боти і калоші для ізолювання людини від «землі» і від струмоведучих частин при виконанні таких операцій, які проводять не через заземлені приводи;



діелектричні килимки та ізолюючі підставки; переносні показчики напруги; тимчасові огорожі і переносні захисні заземлення у вигляді гнучкого мідного троса із затисками для приєднання до шини заземлюючої магістралі і до шин трьох фаз; плакати безпеки: «Не включати - працюють люди», «Працювати тут», «Заземлено» і ін.

Проведення робіт має бути оформлене усним або письмовим розпорядженням в строгій відповідності з вимогами правил техніки безпеки.

Роботи в приміщеннях діючих розподільних пристроїв дозволяється виконувати не менше, ніж двом особам з певною кваліфікацією з техніки безпеки.

При виконанні на підстанції робіт «неелектричним» персоналом (наприклад, будівельниками) за ним має бути встановлений безперервний нагляд.

Крім перерахованих основних заходів організаційного характеру, необхідно для безпечного проведення робіт призначити відповідальних кваліфікованих працівників «електричної» кваліфікації.

Кваліфікацію обслуговуючого персоналу з техніки безпеки розділяють на п'ять груп [6,14]:

- \* до першої групи відносять осіб неелектротехнічної спеціальності, які можуть працювати в приміщеннях підстанцій тільки під безперервним наглядом кваліфікованого персоналу; працівники цієї групи проходять періодичний інструктаж один раз в рік;

- \* до другої групи відносяться: прибиральниці розподільних пристроїв, електромонтери і електрослюсарі зі стажем роботи не менше 1 місяця, а також практиканти ВНЗ, що починають (стаж практикантів не нормується). Персонал, віднесений до другої групи, не має права брати участь в оперативних перемиканнях в розподільних пристроях напругою понад 1000В;

- \* третю групу складають молодші чергові, ремонтні електромонтери і електрослюсарі із загальним стажем роботи від 3 до 6 місяців залежно від наявності спеціального навчання. Особи цієї групи можуть проводити

перемикання в розподільних пристроях напругою понад 1000 В, керувати роботами в розподільчих пристроях до 1000 В і бути спостерігаючими в розподільчих пристроях напругою понад 1000 В;

\* до четвертої групи входять старші чергові, досвідчені електромонтери і електрослюсарі зі стажем робіт на тягових підстанціях від 3 місяців до 1 року залежно від утворення спеціального навчання;

\* до п'ятої групи входить персонал, керівний експлуатацією тягових підстанцій. Весь персонал має знати правила надання першої медичної допомоги і практично вміти робити штучне дихання.

Всі працівники підстанцій, починаючи з другої групи, мають спеціальне посвідчення, в яке заносять відомості щодо періодичної перевірки їх знань з техніки безпеки.

До конструктивних заходів, що забезпечують безпечні умови експлуатації підстанцій, відносяться: огорожа струмоведучих частин, до яких можливий випадковий дотик персоналу. Огорожі можуть бути сітчастими або суцільними, з металу або ізоляційного матеріалу. Металеві огорожі заземляються; блокування дверей захищаючих пристроїв, перешкоджаюче відкриттю дверей без зняття напруги з струмоведучих частин устаткування; блокування розмикачів з масляними вимикачами, перешкоджаюче відключенню розмикачів при включеному вимикачі; заземлення каркасів і підстав всіх апаратів розподільних пристроїв 600 В і 10 кВ.

Слід зазначити, що одноагрегатні підстанції системи децентралізованого електропостачання допускають на час виробництва, ревізій повне їх відключення як з боку енергосистеми, так і з боку контактної мережі. Всі роботи при цьому повинні проводитися тільки в денний час.

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Загайнов Н.А., Финкельштейн Б.С., Кривов Л.Л. Тяговые подстанции трамвая и троллейбуса. Учебник для техникумов (Под редакцией Н.А. Загайнова) издание 4-ое перераб. и доп. М.: Транспорт, 1988 – 327 с.
2. Шевченко В.В., Арзамасцев Н.В., Бодрухина С.С. Электроснабжение наземного городского электрического транспорта. Учебное пособие для студентов вузов. – М.: Транспорт, 1987 – 272 с.
3. Тарнишевский М.В., Томлянович Д.К. Проектирование устройств электроснабжения трамвая и троллейбуса. – М.: Транспорт, 1986 – 376 с.
4. Правила эксплуатации трамвая и троллейбуса ГКУ по ЖКХ. К.: 1997.105
5. Технический справочник по городскому электротранспорту. МКХ. М.: 1983. 576 с.
6. Закон Украины «Об охране труда». Киев 1992г
7. Щербина Я.Я. и др. Основы противопожарной защиты. К.: Стройиздат – 1985. 97 с.
8. Правила устройства электроустановок. Х.: Издательство «ИНДУСТРИЯ», 2007. - 416 с.
9. Тяговые подстанции трамвая и троллейбуса: Справочник / Под ред. ИГОСТ 16110-82.
10. Трансформаторы силовые. Термины и определения. С.Ефремова. -М.: Транспорт, 1984. -311 с.
11. ГОСТ 2341484. Преобразователи электроэнергии полупроводниковые. Термины и определения
12. ДСТУ 3429-96. Електрична частина електростанції та електричної мережі. Терміни та визначення.
13. Андреев В.А. Релейний захист, автоматика й телемеханіка в системах електропостачання.-М.: Вища школа, 1995, - 390 с.
14. Тягові підстанції / Бей Ю.М., Мамошин Р.Р., Пупинін В.Н., Шалімов М.Г. – М.: Транспорт, 1986. – 319 с..

15. Інструкція з технічного обслуговування і ремонту обладнання тягових підстанцій, пунктів живлення і секціювання електрофікованих залізниць: Державна адміністрація залізничного транспорту України                      Управління електрофікації та електропостачання, .-Київ: 1999.- 201 с.

16. Прохоровский А.А. Тяговые и трансформаторные подстанции. Учебник для техникумов ж.-д. трансп.. – 4-е изд.,перегаб. И доп. – М.: Транспорт, 1983 - 496 с.

17. Электроснабжение метрополитенов. Устройство, эксплуатация и проектирование. Под редакцией Е.И. Быкова. М.: «Транспорт», 1977. 431 с.

18. Справочник по электроснабжению железных дорог / Под ред. К.Г. Марквардта. Т.1. М.: Транспорт, 1980. 256 с.

# НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

НЕМ Валерій Костянтинович,  
СКУРІХІН Владислав Ігорович,  
СИДОРЕНКО Віктор Федорович

Конспект лекцій

з курсу

## «ТЯГОВІ ПІДСТАНЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ»

(для студентів 5-го курсу денної і заочної форм навчання спеціальності  
7.092202 (7.05070203) «Електричний транспорт»)

.

Редактор *Д. Ф. Курильченко*

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2011, поз. 109 Л

---

Підп. до друку 12.04.2011 р.  
Друк на ризографі  
Тираж 50 пр.

Формат 60x84 /16  
Ум. - друк. арк. 5,0  
Зам. №

Видавець і виготовлювач:  
Харківська національна академія міського господарства,  
вул. Революції, 12, Харків, 61002  
Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК № 4064 від 12.05.2011